

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Dopravní technika a technologie

Kinematika zadní nápravy silničního vozidla

Kinematics of Vehicle Rear Suspension

Student:

Radovan Papák

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Lukáš Horňáček

Ostrava 2016

Zadání bakalářské práce

Student: **Radovan Papák**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2301R003 Dopravní technika a technologie
Téma: **Kinematika zadní nápravy silničního vozidla**
Kinematics of Vehicle Rear Suspension
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Osnova:

- 1) Úvod
- 2) Teoretický rozbor problematiky
- 3) Metodika měření a zpracování dat
- 4) Kinematický model nápravy
- 5) Zhodnocení a doporučení
- 6) Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

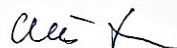
1. MILLIKEN, Douglas L a William F MILLIKEN. Race car vehicle dynamics: problems, answers, and experiments. Warrendale, PA: SAE International, 2003. p. 280. ISBN 0768011272.
2. MATĚJKA, Rostislav. Vozidla silniční dopravy I. 1. vyd. Bratislava: Alfa, 1978, 151 s.
3. VLK, František. Podvozky motorových vozidel. 3. přeprac., rozš. a aktualiz. vyd. Brno: František Vlk, 2006. 464 s. ISBN 80-239-6464-X.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Lukáš Horňáček**

Datum zadání: 11.12.2015

Datum odevzdání: 16.05.2016



doc. Ing. Aleš Slíva, Ph.D.
vedoucí katedry




doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty



Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.


V Ostravě 16.5.2016


.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі́, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі́, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 16.5.2016



podpis

Jméno a příjmení autora práce: Radovan Papák

Adresa trvalého pobytu autora práce: Bernartice nad Odrou 150,
Bernartice nad Odrou 74241

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

PAPÁK, R. Kinematika zadní nápravy silničního vozidla: bakalářská práce, Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 2016, 53 s. Vedoucí práce: Horňáček, L.

Bakalářská práce se zabývá kinematikou zadní nápravy osobního automobilu a jejím následným zkoumáním při změnách továrního nastavení. Úvod obsahuje seznámení s teorií zavěšení především zadních kol automobilů. Navazuje popis zkoumaného typu zavěšení s jeho továrními hodnotami nastavení. Další část obsahuje simulace vybraných nastavení ve virtuálním prostředí vytvořených na základech praktického měření na vozidle i mimo něj. V závěru práce jsou různá nastavení porovnávána, je doporučeno jejich použití a případné další úpravy při použití daných nastaveních zavěšení kol.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

PAPÁK, R. Kinematics of Vehicle Rear Suspension: Bachelor Thesis. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Transport, 2016, 53 p. Thesis head: Horňáček, L.

This Bachelor thesis deals with the kinematics of vehicle rear suspension and its subsequent investigation of changes in factory settings. Introduction includes familiarization with the theory of cars rear wheel suspension primarily. Followed by a description of used type of suspension with its factory settings. Another section contains a simulation of the selected settings in the virtual environment, which was created on the basis of practical measurements on the vehicle and beyond. Finally, we compared selected settings, we recommended their use and additional adjustments while using some settings of the suspension.

OBSAH:

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	8
1. ÚVOD.....	9
2. TEORETICKÝ ROZBOR ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	10
2.1 Teorie zavěšení kol	10
2.2 Závislé zavěšení	11
(2.2.1) Tuhá náprava.....	11
<i>Zavěšení tuhé nápravy dvojicí podélných listových pružin</i>	11
<i>Tuhá náprava odpružená vinutými pružinami</i>	12
(2.2.2) Kombinace nezávislého zavěšení kol a tuhé nápravy	15
2.3 Nezávislé zavěšení.....	15
(2.3.1) Náprava McPherson.....	16
(2.3.2) Lichoběžníková náprava	17
(2.3.3) Kliková náprava	18
(2.3.4) Kyvadlová úhlová náprava.....	19
(2.3.5) Víceprvková náprava	20
2.4 Ovlivnění řiditelnosti vozidla	21
2.5 Nastavení nápravy.....	21
(2.5.1) Světla výška.....	21
(2.5.2) Odklon kola.....	22
(2.5.3) Sbíhavost	23
2.6 Konstrukční řešení zkoumané zadní nápravy na vybraném vozidle	24
(2.6.1) Vybrané vozidlo	24
(2.6.2) Konstrukční řešení zkoumané zadní nápravy	25
(2.6.3) Tovární nastavení nápravy	26
3. METODIKA MĚŘENÍ A ZPRACOVÁNÍ DAT	29
3.1 Metodika měření	29
3.2 Zpracování dat	30
4. KINEMATICKÝ MODEL NÁPRAVY.....	36
4.1 Originální standartní podvozek	37
4.2 Originální sportovní podvozkový paket	39
4.3 Neoriginální sportovní sada.....	41
4.4 Neoriginální sportovní sada pro extrémní snížení.....	43
5. ZHODNOCENÍ A DOPORUČENÍ	45
5.1 Originální standartní podvozek	45
5.2 Originální podvozek se sportovním podvozkovým paketem	45

5.3	Neoriginální sportovní sada.....	46
5.4	Neoriginální sportovní sada pro extrémní snížení.....	47
6.	ZÁVĚR	50
7.	PODĚKOVÁNÍ.....	52
8.	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	53

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

	Písmena latinské abecedy	Jednotka
A	Vzdálenost okrajů ráfku měřená v rovině středu kola	[mm]
B	Vzdálenost okrajů ráfku měřená v rovině středu kola	[mm]
dk	Jmenovitý průměr ráfku	[mm]
J	Typ patice pro téměř všechny alu kola	[-]
R	Jmenovitý průměr	[palce]
v	Směr jízdy	[-]
VIN	Identifikační číslo vozidla	[-]
y	Příčný pohyb nápravy	[-]
z	Svislý pohyb nápravy	[-]

	Písmena řecké abecedy	Jednotka
γ	Úhel odklonu kola	[°]
δ	Úhel mezi střední rovinou kola a podélnou rovinou vozidla	[°]
δ_0	Úhel mezi středními rovinami obou kol	[°]

1. ÚVOD

Problematickou bakalářské práce je kinematika zadní nápravy zvoleného automobilu a její následné zkoumání při změnách továrního nastavení. Cílem práce je simulace jednotlivých nastavení zavěšení, zjištění možných hodnot vznikajících při jízdě automobilu s daným nastavením, srovnání jednotlivých nastavení, doporučení použití a případně dalších potřebných úprav komponentů nápravy. Je předpokládáno vyvrácení tvrzení výrobců neoriginálních sportovních podvozkových sad, kteří udávají použití jimi dodávaných sad bez potřeby dalších úprav komponentů nápravy při zachování správné funkce zavěšení.

Úvodní část bude obsahovat teoretický rozbor problematiky zavěšení kol automobilů, jeho funkce, základní pojmy a základní rozdělení. V návaznosti na uvedení do problematiky budou popsána nejčasnější konstrukční řešení se zaměřením především na zavěšení zadních kol automobilů. U jednotlivých konstrukčních řešení proběhne seznámení s jejich konstrukcí a popis. Další část práce bude obsahovat popis pojmů spojených se zadním zavěšením kol automobilů, jejich nastavením a funkcí, pomocí kterých je možné ovlivnit řiditelnost vozidla. Díky seznámení s teorií problematiky bude možno navázat na konstrukční řešení zavěšení kol u vybraného automobilu, jeho popisem, továrním nastavením a hodnotách nastavení předepsaných výrobcem pro správnou funkci zavěšení.

Pomocí těchto znalostí bude v praktické části práce navázáno na tvorbu kinematického modelu nápravy ve virtuálním prostředí programu Lotus Suspension Analysis. Vytvoření modelu však bude předcházet získání souřadnic a rozměrů potřebných k přenesení nápravy do virtuálního prostředí, které budou získány praktickým měřením nápravy na automobilu i mimo něj. V další části proběhne simulace chování standartního továrního nastavení podvozku a od tohoto nastavení se odvíjejících dalších tří odlišných nastavení demonstrujících použití originálních a neoriginálních sportovních podvozkových sad.

V konečné části práce bude zhotoveno zhodnocení ve formě srovnání vytvořených simulací a hodnot z nich vyplívajících a doporučení použití či dalších potřebných úprav ostatních komponentů nápravy automobilu.

2. TEORETICKÝ ROZBOR ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

2.1 Teorie zavěšení kol

Pojem zavěšení kol znamená způsob spojení kol s rámem nebo přímo karoserií automobilu, přesněji její nosnou částí. Často hovorově používaný pojem náprava není příliš přesný, neboť nápravami rozumíme komplet skládající se z nápravnice, zavěšení kol, úplných nábojů ložisek kol, brzdového ústrojí kol, pružících jednotek a u předních náprav také z řídicího ústrojí.

Funkce zavěšení kol umožňuje především svislý relativní pohyb kol vzhledem k rámu nebo karoserii automobilu. Umožnění tohoto relativního svislého pohybu je potřeba především z hlediska propnutí a eliminuje nežádoucí pohyby kol jako například boční posuv nebo naklápění kola na přijatelnou hodnotu, jde o tzv. vedení kola.

Další funkcí zavěšení kol je přenášení sil a momentů mezi kolem a rámem či karoserií automobilu což znamená přenést:

- Svislé síly ve spolupráci s odpružením automobilu (zatížení vozidla)
- Příčné síly jako odstředivé síly, sklon vozovky, boční vítr apod. a jejich momenty
- Podélné síly jako hnací a brzdě s jejich momenty

Existuje mnoho možností a technických řešení zavěšení kol automobilů a správně zvolené zavěšení kol pro daný automobil má největší zásluhu na výsledné ovladatelnosti automobilu, bezpečnosti a komfortu jízdy. [1]

Druhy zavěšení kol:

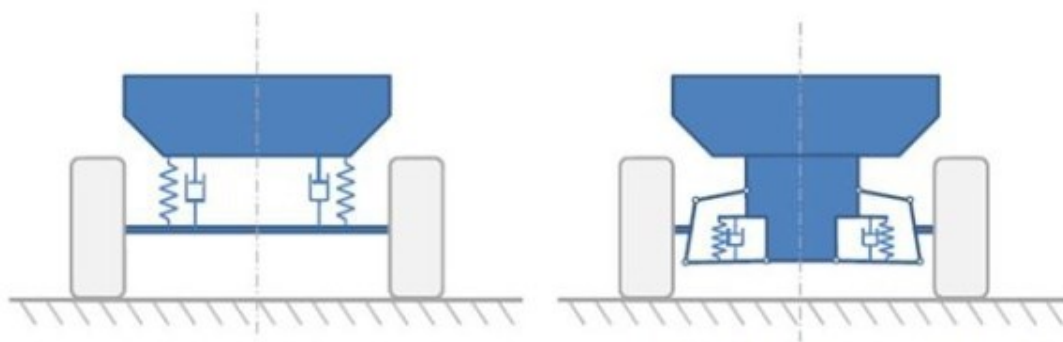
Závislé zavěšení

Kola u závislého zavěšení jsou uložena na sdíleném příčném nosníku nazývaném „most nápravy“, se kterým tvoří z kinematického hlediska jeden celek. Takový celek koná při svislém propnutí pohyb ve svislé příčné rovině vzhledem ke karoserii automobilu a díky spojení mostem nápravy zůstává zachována rovnoběžnost středových rovin neřízených kol. [3]

Nezávislé zavěšení

U nezávislého zavěšení je oproti závislému zavěšení každé kolo zavěšeno ke karoserii samostatně, nezávisle na protilehlém kole. U tohoto typu zavěšení kol nejsou

pohyby pravého a levého kola vzájemně vázány, to znamená, že při propružení jednoho kola nevznikne pohyb druhého kola.



Obrázek 1. Schéma závislého a nezávislého zavěšení. [4]

2.2 Závislé zavěšení

(2.2.1) Tuhá náprava

Jedná se o nejstarší, ale i přesto dnes stále ve velké míře používaný druh zavěšení kol. Používá se především u nákladních automobilů, autobusů, terénních automobilů, užitkových automobilů (dodávkových) a u velké většiny přípojných vozidel. Náprava musí být schopna zachytit síly působící ve všech třech směrech a to i s momenty vyvolanými těmito silami. Tyto momenty se snaží nápravou otáčet kolem její osy a síly se snaží nápravu posunout v podélném nebo příčném směru vůči karoserii automobilu. Takovéto pohyby jsou samozřejmě nežádoucí a musí je v maximální možné míře zachytit a eliminovat zavěšení nápravy. [1][3]

Zavěšení tuhé nápravy dvojicí podélných listových pružin

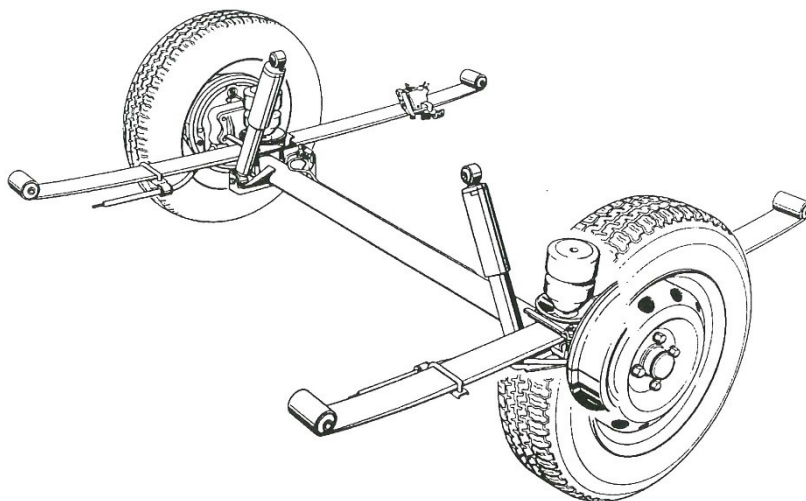
Tento druh zavěšení patří mezi nejstarší způsoby. Listové pružiny musí současně zastávat tři úlohy:

- Vedení tuhé nápravy
- Odpružení tuhé nápravy
- Tlumení, vznikající třením listů pružiny, mezi karoserií automobilu a nápravou

Tento princip se dnes používá především na zadních nápravách nákladních automobilů vyšších hmotností.

Postupným zvyšováním požadavků a vývojem došlo k rozdělení těchto tří úloh tak, že každá úloha je uskutečňována jiným konstrukčním dílem což je nejvíce patrné u pohodlných osobních automobilů. Takovéto pohodlné automobily vyžadují měkké odpružení za účelem zvýšení komfortu jízdy, což znamená, že musí být použity dlouhé listové pružiny s malým počtem listů. Dlouhé listové pružiny jsou, ale značně bočně

poddajné což zhoršuje „držení“ automobilu při průjezdu zatáčkou. Jejich další nevýhodou je tzv. „S-ráz“, který vzniká při přenosu brzdného nebo hnacího momentu. To znamená, že v takových situacích se pružiny nechtěně deformují a vzniká jejich značné přidavné ohybové namáhání.



Obrázek 2. Tuhá náprava s dvojicí podélných listových pružin. [4]

Pro zmenšení tohoto nechtěného ohybového namáhání podélných listových pružin se v některých případech dvojice listových pružin doplňuje podélnými tzv. suvnými tyčemi, které přenáší podélné reakce od zmiňovaného brzdného a hnacího momentu a tím odlehčují listové pružiny.

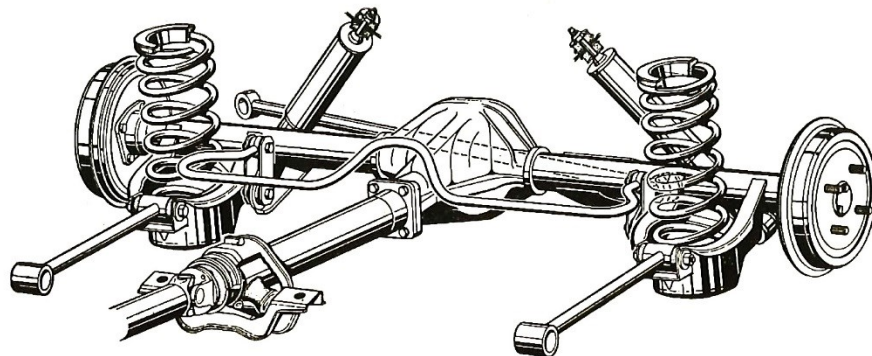
Zmenšení tření mezi jednotlivými listy dlouhých listových pružin s menším počtem listů za účelem zvýšení jízdního pohodlí je v tomto případě velice výhodné, ale při dosažení vyšších rychlostí třecí tlumení zpravidla nestačí a je nutno použít přidavné hydraulické tlumiče.

K odpružení tuhých náprav u osobních a lehkých nákladních automobilů se listové pružiny jako pružící prvek dnes používají výjimečně a jsou nahrazovány ve většině případů šroubovými pružinami, přičemž k vedení nápravy v bočním a podélném směru se používají přidavná ramena. [1]

Tuhá náprava odpružená vinutými pružinami

Tuhá náprava odpružená pomocí vinutých pružin musí mít zajištěno vedení v podélném i bočním směru. A z toho důvodu je třeba nápravu doplnit o vhodný mechanismus, který bude zajišťovat její správné vedení. K tomuto účelu se používají tyto následující konstrukce:

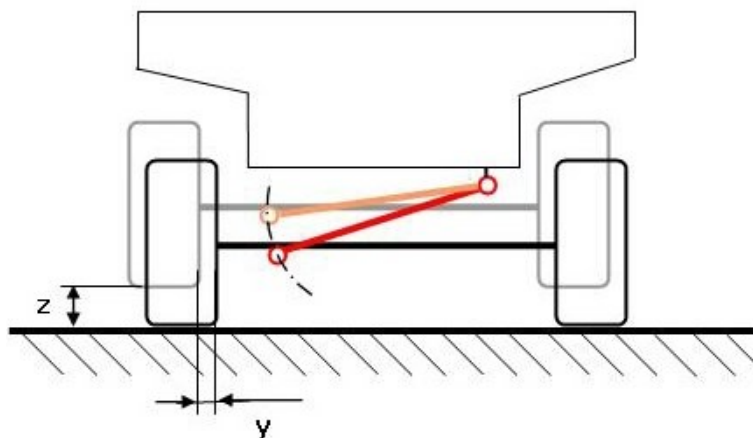
- a) Čtyři podélná a jedno příčné rameno tzv. „Panhardská tyč“, která vede most nápravy v příčném směru a zároveň přenáší boční síly.
- b) Wattův přímovod, který obsahuje spodní šikmá ramena a horní dozadu směřující tyč, spodní a dolní rameno je spojeno s nosníkem kola. Jde o kombinaci Wattova přímovodu a Panhardské tyče.
- c) Možnosti ojniového vedení, které je samostatně schopné přenášet pouze podélné síly:
 - Ojnicové vedení v kombinaci s Panhardskou tyčí
 - Ojnicové vedení v kombinaci s Wattovým přímovodem, který vede most nápravy v příčném směru. Ten obsahuje dvě příčné tyče a v místě středu mostu umístěný výkyvný třmen neboli „*vahadlo*“.
- d) Vedení pomocí čtyř ramen, která vedou most nápravy v podélném i příčném směru. Obsahuje dvojici šikmých ramen, které jsou navzájem symetrické vzhledem k podélné rovině symetrie vozidla. [1]



Obrázek 3. Tuhá náprava s vinutými pružinami. [4]

Panhardská tyč

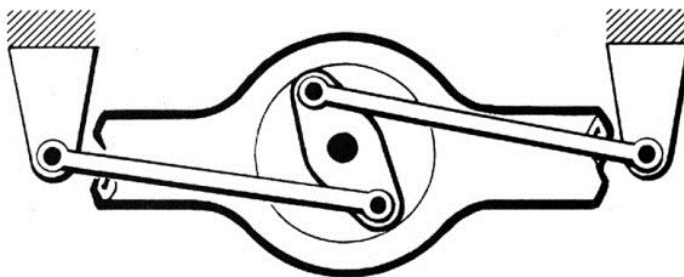
Název tohoto konstrukčního prvku vznikl v minulosti podle jedné francouzské automobilky, která s tímto řešením vedení nápravy ve dvacátých letech minulého století vyrukovala jako první. Slouží konkrétně k příčnému vedení tuhé nápravy, které se nejčastěji používá u lehkých nákladních a terénních automobilů. Tento konstrukční prvek nazýván také jako „*příčné rameno*“ se používá u tuhých náprav s odpružením pomocí vinutých pružin v kombinaci se dvěma nebo čtyřmi podélnými rameny, která vedou nápravu v podélném směru. [3][4]



Obrázek 4. Pohyb nápravy vedené Panhardskou tyčí při propružení. [4]

Wattův přímovod

Jedná se o tříčlenný pětikloubový mechanismus sloužící k příčnému popřípadě i podélnému vedení většinou tuhé nápravy automobilů jako dokonalejší alternativa jednodušší Panhardské tyče. Výhodou Wattova přímovodu je větší přesnost a přímý svislý pohyb nápravy při středově souměrné konstrukci, který Panhardská tyč není schopna konstrukčně zajistit. Což znamená, že při propružení se v celém zdvihu pérování střed nápravy pohybuje pouze ve svislém směru a to i když se náprava nakloní vzhledem ke karoserii automobilu vlivem nestejného propružení jednotlivých kol.



Obrázek 5. Wattův přímovod. [1]

Jak je již výše zmíněno, ideální konstrukce Wattova přímovodu je středově souměrná, jelikož pouze tak je schopna zaručit, že při změnách polohy jeho ramen se bude střed pohybovat po svislé přímce. Pokud se musí z konstrukčních důvodů, jako jsou například umístění ostatních dílů podvozku nebo vedení výfuku, modifikovat nestejně dlouhými krajními rameny, vznikají pak malé změny polohy nápravy v příčném směru. Tímto se přednosti v podobě pohybu nápravy při propružení po svislé přímce ztrácí. Na most nápravy je uchycen mechanismus Wattova přímovodu a konce ramen

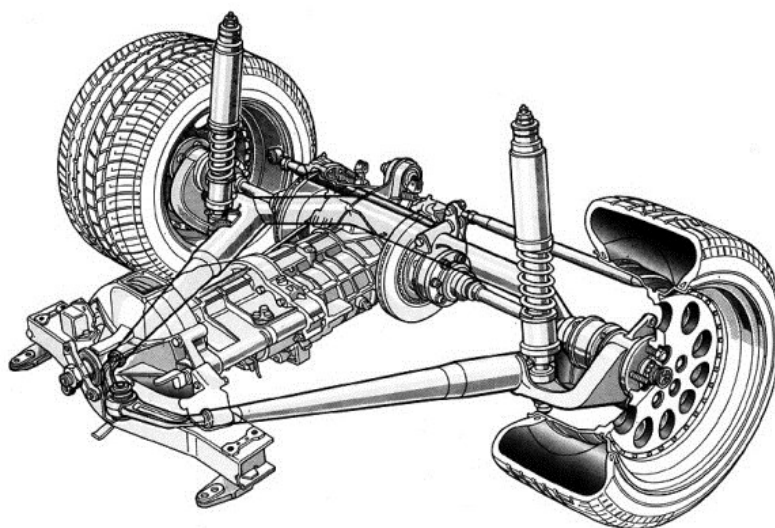
jsou uchyceny ke karoserii. Otočné uložení středové části dovoluje propuštění tuhé nápravy automobilu.

K tomuto konstrukčnímu řešení se dodnes výrobci automobilů často vrací za účelem zvýšení tuhosti nápravy v příčném směru a také současnému odstranění působení bočních sil na uložení vlečných ramen při průjezdu automobilu zatáčkou. [4]

(2.2.2) Kombinace nezávislého zavěšení kol a tuhé nápravy

NÁPRAVA TYPU DE DION

Tento konstrukční druh nápravy byl poprvé představen v roce 1896. Nespornou výhodou tohoto konstrukčního typu nápravy je kombinace výhod nezávislého zavěšení kol a tuhé nápravy. Což znamená, že zde byl oddělen pohon nápravy od mostu nápravy, čímž dojde ke chtěnému snížení hmotnosti neodpružených hmot. Rozvodovka je zde pevně spojena s rámem nebo karoserií automobilu a kola jsou uchycena pomocí kloubových hřídelů, které jsou pevně spojeny s tuhým nosníkem, ten může být příčně ustaven k rámu nebo karoserii pomocí Panhardské tyče či Wattova přímovodu, čímž je zajištěna jejich vzájemná poloha. Tato řešení zachycují boční síly. Rozvodovka, která je pevně spojena s rámem nebo karoserií automobilu je součástí odpružených hmot a hmotnost kloubových hřídelí určených k pohonu se jen částečně přičítá k neodpruženým hmotám. [4]



Obrázek 6. Náprava typu De Dion automobilu Alfa Romeo. [4]

2.3 Nezávislé zavěšení

Nezávislé zavěšení kol obstarává pohyby levých a pravých kol, které již nejsou přímo vzájemně vázány jako u tuhých náprav, ale pouze nepřímo přes rám či karoserii

automobilu. Díky tomu, zde nemůže vzniknout nechtěné „třepetání“. Další výhodou nezávislého zavěšení je výrazné snížení hmotnosti neodpružených hmot u poháněných náprav, neboť pohon nápravy jako je rozvodovka a diferenciál jsou pevně spojeny s rámem nebo přímo karoserií automobilu a nejsou tedy součástí nápravy jako tomu bylo u tuhých náprav.

Druhy nezávislého zavěšení kol:

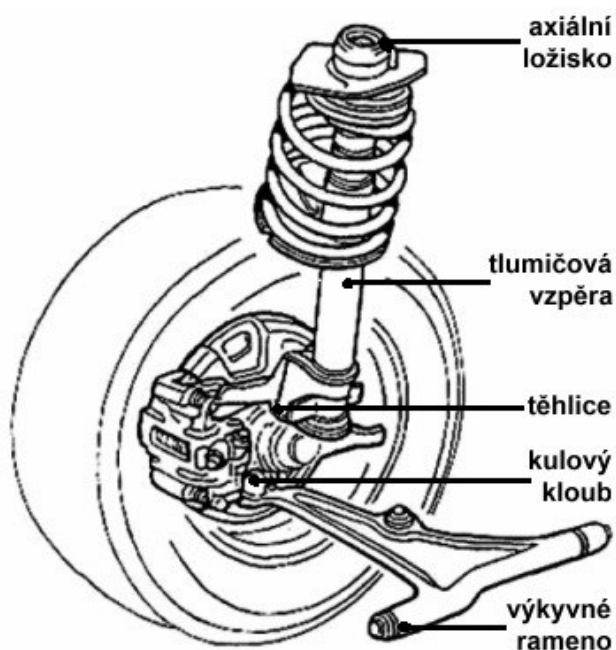
- Náprava McPherson (teleskopická vzpěra s rozvidleným spodním příčným ramenem)
- Lichoběžníková náprava (dvojice příčných trojúhelníkových ramen)
- Kliková náprava (podélná ramena s příčnou osou kývání nebo podélná ramena propojena torzním prvkem)
- Kyvadlová úhlová náprava (trojúhelníková ramena s šikmou osou kývání)
- Víceprvková náprava

[1]

(2.3.1) Náprava McPherson

První automobil používající tento typ konstrukce nápravy byl Ford Vedette uvedený na trh v roce 1949. Od té doby do současnosti prošel tento typ konstrukce nápravy mnoha modifikacemi a vylepšeními, díky kterým z ní udělaly jednu z v dnešní době nejčastěji používaných předních náprav automobilů.

Tuto nápravu lze použít jako hnanou i hnací. V praxi ji nejčastěji uvidíme jako přední nápravu u vozidel s motorem umístěným vpředu napříč a s pohonem předních kol.



Obrázek 7. Zavěšení předních řízených kol typu McPherson s popisky. [4]

Konstrukce:

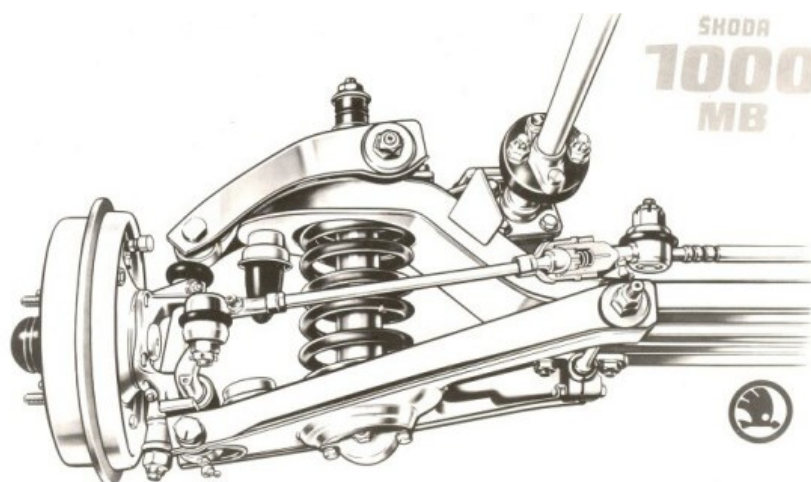
Náprava typu McPherson je v principu fungování odvozena od lichoběžníkové nápravy, kde je horní trojúhelníkové rameno nahrazeno posuvným vedením, což získává další prostor využitelný pro motor a jeho ústrojí nebo zvětšení objemu zavazadlového prostoru automobilu.

Základem celé konstrukce je spodní výkyvné rameno vyrobené lisováním vysokopevnostního plechu nebo jako odlitek uložené šikmo k podélné ose automobilu, na kterém je pomocí kulového kloubu uchycena těhlice vyrobená také jako odlitek. Kolo je v těhlici upevněno pomocí ložiska a náboje nalisovaném vně. Těhlice je pevně spojená se spodním vedením tlumičové vzpěry McPherson. Horní vedení tlumičové vzpěry McPherson je tvořeno axiálním ložiskem, které přenáší hmotnost vozidla na vinutou pružinu. Vinutá pružina se opírá svým spodním koncem o tzv. „misku pružiny“, která je spojená s vnější částí tlumičové vzpěry McPherson.

Vedení ve vzpěře McPherson je výhradně konstruováno jako hydraulický tlumič, přičemž jeho pístnice je z důvodu zatížení radiálními silami značně zesílena oproti běžnému tlumiči. Horní a dolní vedení se tedy jako celek nazývá vzpěra McPherson. Z důvodu zachytávání těchto sil vzniká v tlumiči tření, které může při kopírování malých nerovností na vozovce zablokovat pohyb celé vzpěry. Za účelem co největšího snížení rizika tohoto nežádoucího tření se upravuje poloha pružiny, jejíž osa se vychýlí od osy vzpěry. Hmotnost automobilu následně působí proti účinku radiálních sil působících na vzpěru. [1]

(2.3.2) Lichoběžníková náprava

Lichoběžníková náprava je u běžných osobních vozidel používána především jako řídící náprava. Název je odvozen od polohy ramen vůči těhlici, čímž tvoří lichoběžník. Největší výhodou lichoběžníkové nápravy je její velmi nízké uložení, díky kterému zabírá méně místa. Další výhodou je bezesporu její schopnost přenášet větší výkony než náprava typu McPherson a díky tomu je při průjezdu automobilu zatáčkou lépe ovladatelná a poskytuje řidiči důležitou zpětnou vazbu. To vše se ale následně promítá ve složitější konstrukci, která je zároveň výrobně nákladnější. Nevýhodou je také větší náchylnost k opotřebení a tedy i nechtěnými kratšími servisními intervaly.



Obrázek 8. Přední lichoběžníková náprava automobilu Škoda 1000MB. [4]

Konstrukce:

Lichoběžníková náprava je tvořena dvojicí nestejně dlouhých trojúhelníkových ramen umístěných nad sebou. Koncové body trojúhelníkových ramen tvoří v průmětu do příčné roviny lichoběžník. Kola jsou zavěšena na nápravnici, rámu nebo na skříni převodovky pomocí těhlice (hlavy ložiska kola), která je vázána s dvěma nestejně dlouhými příčnými rameny pomocí kulových čepů. Horní ramena jsou kratší, spodní naopak delší z důvodu upevnění tlumiče s vinutou pružinou právě na spodním rameni. Při propružení lichoběžníkové nápravy vznikají kinematické změny v situacích: propružení kola, propružení karoserie nebo klopení karoserie a kola. [3]

(2.3.3) Kliková náprava

Kliková náprava může být označována také jako „*polotuhá náprava*“ s vlečnými rameny. Kliková náprava je dnes z většiny používána jako zadní náprava nepoháněná, ale je možnost ji použít i jako zadní nápravu hnací. Tento druh nápravy je vhodný hlavně pro automobily typu kombi a automobily s velkými pátými dveřmi, případně sklápěcími zadními sedadly, protože její konstrukce je prostorově velice nenáročná, což je její hlavní výhoda. Části nápravy nezužují podlahu vozu, která díky tomu může být velmi nízko. Spolu s její konstrukční jednoduchostí a dobrými jízdními vlastnostmi je důvodem k tomu, proč ji dnes velké množství automobilek používá u svých nabízených modelů s předním pohonem. V porovnání s kyvadlovou nápravou je velkou nevýhodou zvětšení naklápění karoserie automobilu při průjezdu zatáčkou. Tento konstrukční druh nápravy nelze použít jako nápravu řídící.



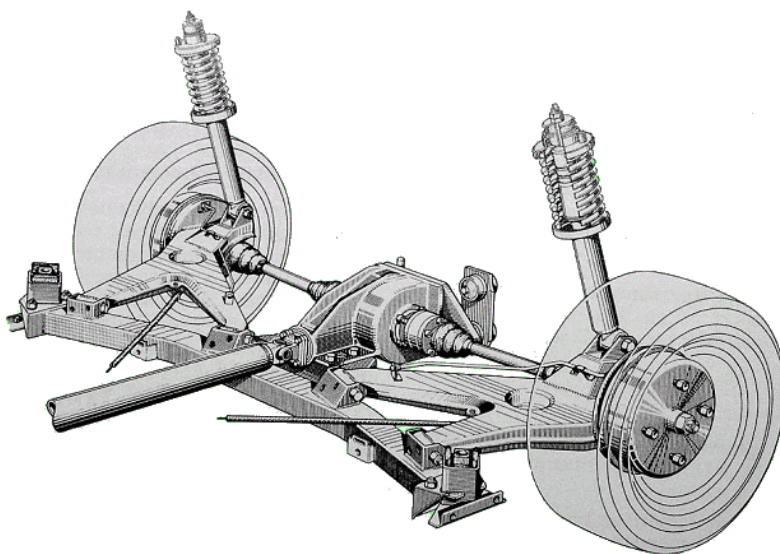
Obrázek 9. Zadní náprava s vlečnými rameny automobilu VW Polo/Škoda Fabia. [4]

Konstrukce:

Každé z kol je zavěšeno na jednom nebo dvou podélných ramenech, díky kterým se kola při propružení karoserie automobilu vykyvují kolem osy kolmé k podélné ose automobilu. Tento druh nápravy bývá odpružen zkrutnými tyčemi nebo vinutými pružinami a má šikmo usazené tlumiče. [1][4]

(2.3.4) Kyvadlová úhlová náprava

Tento konstrukční druh nápravy nelze stejně jako předcházející použít jako nápravu řídící.



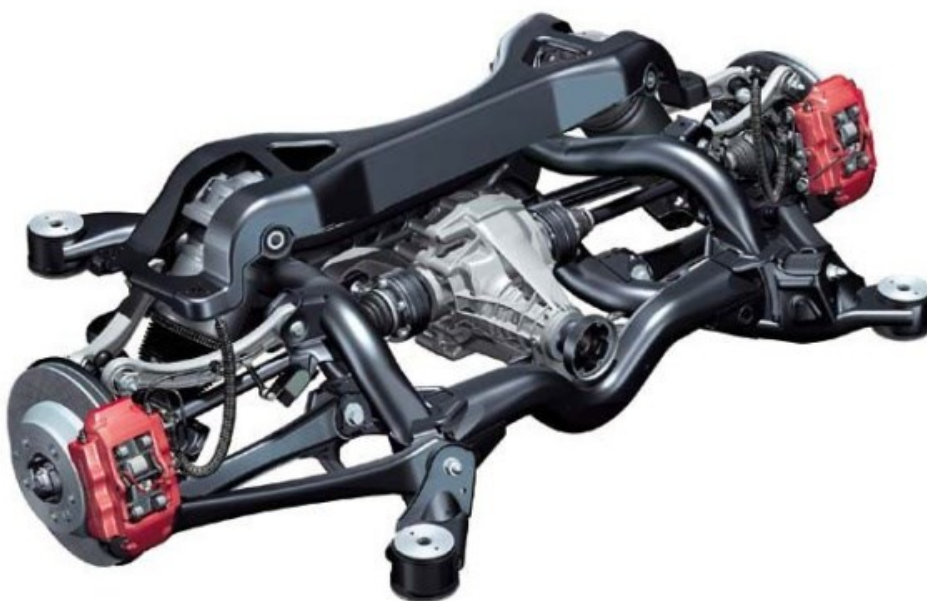
Obrázek 10. Kyvadlová úhlová náprava. [4]

Konstrukční řešení:

Konstrukce se skládá z příčné nápravnice upevněné přes pryžokovová lůžka k rámu nebo k nosné části karoserie automobilu. K nápravnici jsou pod daným úhlem přes čepy uchycena vlečná ramena a jejich osa kývání v půdorysu je tedy šikmá, z čehož je odvozen název „úhlová kyvadlová náprava“. Ve většině případů je osa kývání šikmá i v narysu. Důsledkem těchto úhlů vzniká při propuštění tzv. „samořízení“, které přispívá k nedotáčivosti automobilu. Ramena jsou odpružena pomocí vinutých pružin a na koncích ramen jsou upevněny tlumiče. [1]

(2.3.5) Víceprvková náprava

Tento konstrukční typ nápravy je často označován také jako „víceprvkové zavěšení“ nebo „Multi-link“. Jedná se o zavěšení předních nebo zadních kol automobilu několika ramen, tyčí nebo trojúhelníkových ramen. Tento systém je prostorově a konstrukčně náročný, ale vyniká možností lepšího naladění podvozku. To znamená, že lze nastavit parametry každého z ramen. Tato konstrukce v současné době mezi sériově vyráběnými systémy zavěšení kol splňuje nejlépe dynamické požadavky přesného vedení kol. Vyniká především jeho nízká hmotnost, tření, potlačení vibrací a hluku přenášených z vozovky a především mimořádnou prostorovou účinností. Víceprvková zavěšení umožňuje řešit působení příčných a podélných sil nezávisle na sobě. Příčně působící síly zachycují příčná ramena, která jsou navržena s ohledem na působení příčných sil. Stejně pravidlo platí i u podélných ramen. Díky těmto opatřením dosahuje náprava velké tuhosti.



Obrázek 11. Zadní víceprvková náprava automobilu Porsche Cayenne. [4]

Konstrukce:

Klasickým případem konstrukce nezávislého zavěšení zadních kol je, že každé kolo je zavěšeno na třech ramenech (lichoběžníkové spodní rameno, dvě jednoduchá ramena). Dlouhé spodní příčné rameno je spojeno s tlumičem pérování, kratší horní rameno umožňuje seřízení sbíhavosti. Tato ramena jsou uložena v příčně uložené nápravnici. Příčný stabilizátor je spojený s těhlicí závěsem. Uspořádání vlečného a vodícího ramena umožňuje pohyb při propnutí kola po přímce. Důsledkem toho vzniká jev „*anti-dive*“, což znamená předklánění karoserie nebo „*anti-squat*“, tedy zaklánění karoserie. [1][3]

2.4 Ovlivnění řiditelnosti vozidla

Ovlivnit řiditelnost vozidla můžeme převedším pomocí: volby kinematiky obou náprav, geometrie řízení, tuhost bočního připojení kol a z nich vyplývající kinematické změny natáčení kol při působení bočních sil, tuhost řízení apod.

Níže se seznámíme s pojmy souvisejícími s uvedenými možnostmi ovlivnění řiditelnosti vozidla, se kterými se můžeme setkat právě u postavení neboli geometrie kol zadních náprav vozidel s nezávislým zavěšením.

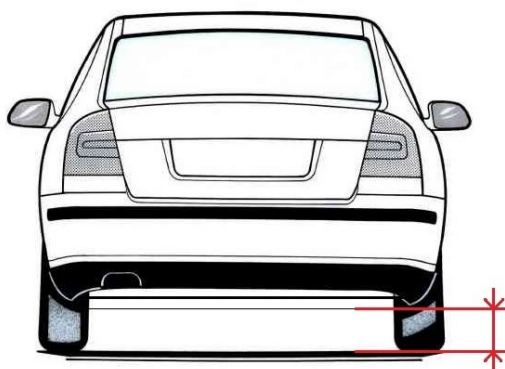
Pod pojmem geometrie zavěšení kol si můžeme představit soubor úhlů nastavujících kolo a tedy i jeho závěs vůči vozovce. Stabilitu vozidla při průjezdu zatáčkou, ale také při jízdě v přímém směru, valivé odpory a následné opotřebení pneumatik stanovujeme právě geometrií zavěšení kol. [2]

2.5 Nastavení nápravy

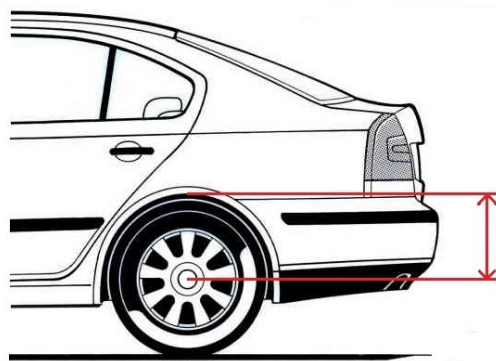
(2.5.1) Světlá výška

Světlá výška neboli také statická výška je pojem udávající obecně rozměr mezi nejnižším bodem podvozku nebo karoserie vozidla a podložkou/vozovkou. Měří se při zatížení vozidla provozní hmotností. Tento rozměr však může být definován dvěma způsoby:

- Vertikální rozměr mezi nejnižším bodem podvozku nebo karoserií vozidla a vodorovnou podložkou (viz. Obrázek 13.)
- Vertikální rozměr mezi středem kola a lemem blatníku karoserie (viz. Obrázek 12.)



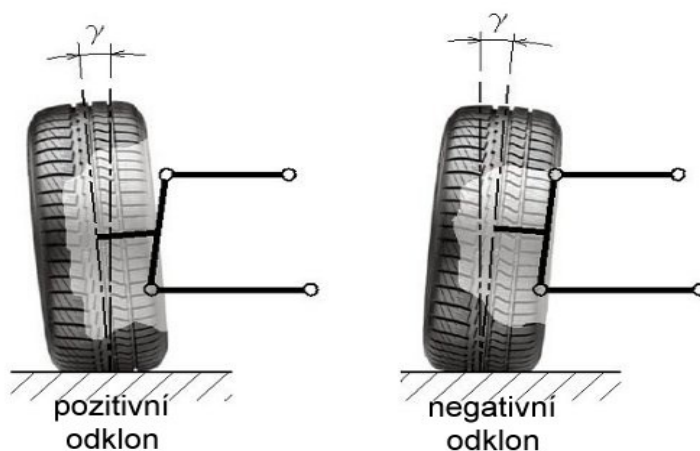
Obrázek 13. Rozměr mezi nejnižším bodem podvozku či karoserií vozidla a podložkou. [autor]



Obrázek 12. Rozměr mezi středem kola a lemem blatníku karoserie. [autor]

(2.5.2) Odklon kola

Odklon kola je sklon střední roviny kola vůči svislé podélné rovině vozidla. Odklon je považován za kladný (pozitivní), naklání-li se kolo vrchem vně vozidla. Naopak záporný odklon (negativní) znamená, že se kolo naklání dovnitř. Odklon se měří ve stupních a minutách.



Obrázek 14. Pozitivní a negativní odklony kol. [4]

Při zrychlení v přímém směru bude nejvíce vyhovovat nulový odklon, kde je pneumatika kolmo k vozovce. Při průjezdu vozidla zatáčkou se karoserie naklání vně zatáčky vlivem odstředivých sil. Díky tomu je pro vyšší zatíženost vnějšího kola výhodnější záporný odklon, jehož úhel se působením odstředivé síly snižuje a nastavuje tak kolo do ideálnějšího postavení. Toho se využívá především u sportovních a závodních vozidel, která mají nastavený právě záporný odklon kol (příklon). Naproti tomu u vnitřních, méně zatížených kol by byl výhodnější kladný odklon kol. Efektem

kladného odklonu kola je, že odvalující se kolo tvoří s vozovkou imaginární kužel a kola tak působí navzájem od sebe (chce zatačet ven), čímž snižují sklon ke kmitání při přímé jízdě. U negativního odklonu kol naopak kola působí proti sobě (chce zatačet dovnitř).

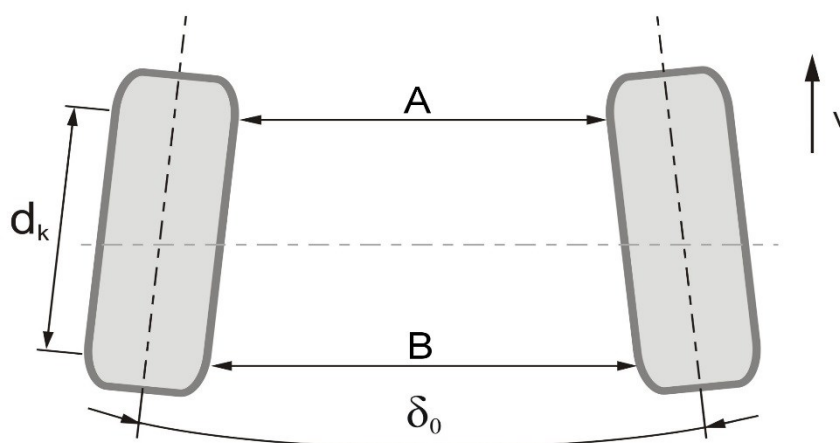
Úhel odklonu kola dále způsobuje, že tíhová síla působící na kolo se rozkládá na dvě složky. Složku ve směru podélné roviny kola a složku v ose čepu kola, která pneumatiku zatěžuje boční silou ve styku s vozovkou. Při valení kola vzniká vlivem boční síly směrová úchylka a kolo se stáčí ve směru naklonění. K eliminování vlivu úhlu směrové úchylky se nastavuje sbíhavost kol.

U nezávislého zavěšení kol dochází při propnutí ke změně odklonu kol, což vytváří boční síly, které působí opotřebení pneumatik a zvýšení namáhání zavěšení kola. Při naklápění kola setrvačnými silami vzniká moment, který se snaží naklánět karoserii vozidla. Kvůli těmto jevům se při návrhu zavěšení snažíme, aby se při pohybu kola měnil jeho odklon co nejméně. [1][2][4]

(2.5.3) Sbíhavost

Sbíhavost kol δ je průmět úhlu mezi podélnou rovinou vozidla a střední rovinou kola nebo také průmět úhlu δ_0 mezi středními rovinami obou kol na téže nápravě do roviny vozovky při daném statickém zatížení kola viz. Obrázek 15.

Sbíhavost se měří ve výšce osy kol, od kraje ráfku kola k druhému a jako výsledek se uvádí rozdíl hodnot B-A [mm] (viz. Obrázek 15.) nebo celkový úhel mezi středními rovinami kol δ_0 .



Obrázek 15. Sbíhavost kol nápravy – půdorys: A, B – vzdálenost okrajů ráfku měřená v rovině středu kola, δ_0 – úhel sbíhavosti mezi středovými rovinami kol, v – směr jízdy, d_k – jmenovitý průměr ráfku. [4]

Pokud je přední část kola ve směru jízdy přikloněna k ose vozidla, je kolo sbíhavé. Je-li přední část kola naopak odkloněna od osy vozidla, hovoříme o rozbíhavosti. Působením sil při jízdě vozidla proti směru jízdy např. valivého odporu se sbíhavé kolo snaží natáčet do přímého směru nebo rozbíhavosti. Naopak u vozidel s danou nápravou hnanou se velikostně významnější dopředu směřující hnací síla snaží kola naopak stlačovat do sbíhavosti. Abychom dosáhli minimálních ztrát výkonu a opotřebení pneumatik v jízdě přímým směrem by kola měla mít nulovou sbíhavost. Nadměrná sbíhavost, nebo rozbíhavost způsobí opotřebení krajů pneumatik, protože se odvalují mírně stranou. Kola při sbíhavosti směřují do jednoho bodu před vozidlem, díky čemuž mají při výchylce tendenci vracet se a zůstat v původním směru. Naopak rozbíhavost způsobuje jízdní nestabilitu, která se projeví při přejezdu nerovností, kdy se vůz bude snažit zatočit. Nastavení sbíhavosti kol je kompromisem mezi přímou stabilitou dodávanou sbíhavostí a rychlou odezvou na změnu směru nabízenou rozbíhavostí. Výjimkou mohou být závodní vozy, kde lze takzvané nestability a tedy rychlé změny směru díky rozbíhavosti kol využít v prospěch. [1][2]

2.6 Konstrukční řešení zkoumané zadní nápravy na vybraném vozidle

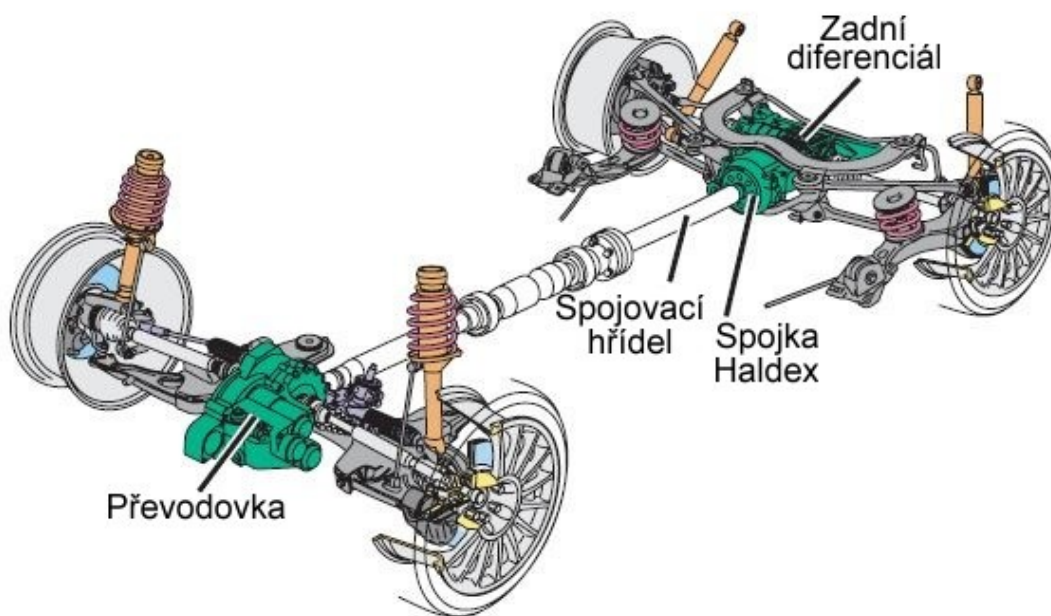
(2.6.1) Vybrané vozidlo

Zkoumaná náprava přísluší automobilu značky Audi, model TT Coupe Quattro 225, označení 8N, tedy první generace tohoto modelu vyráběná v letech 1998 až 2006. Základ automobilu tvoří platforma skupiny VW označována jako PQ34, kterou tento model sdílel s automobily VW Golf IV, první Audi S3, první Škodou Octavií a dalšími. Zkoumaný automobil byl vyroben v druhém měsíci roku 2000, což znamená, že jde o model již po první modernizaci a tovární úpravě konstrukce podvozku proběhnuté na přelomu let 1998 a 1999.



Obrázek 16. Audi TT Coupe Quattro 225 8N. [autor]

Jde o vrcholnou verzi se známou příčně uloženou motorizací 1,8T 20V (kód motoru APX) továrně naladěnou na výkon 165 kW (225 koňských sil) doplněnou o pohon všech kol Quattro. V tomto případě jde o tzv. „*příčný systém Quattro*“ jež zastává první generace mezinápravové spojky Haldex umístěné v pomocném rámu ve středu zadní nápravy. Toto konstrukční řešení přenáší krouticí moment motoru primárně na kola přední nápravy a v případě potřeby vyhodnocené řídicí jednotkou je zadní náprava připojena pomocí mezinápravové spojky. Připojení zadní nápravy nastane v případě, že řídicí jednotka zachytí změnu odvodové rychlosti předních kol o 4% oproti zadním kolům, v tom okamžiku připojí i zadní nápravu. Z důvodu použití tohoto systému pohonu je zadní náprava automobilu konstruována jako nezávislé zavěšení kol s pomocným rámem, na rozdíl od verzí s nižším výkonem (132 kW) a pohonem pouze předních kol, které byly osazeny klasickou zadní „*klikovou nápravou*“ zmíněnou v předešlé kapitole.

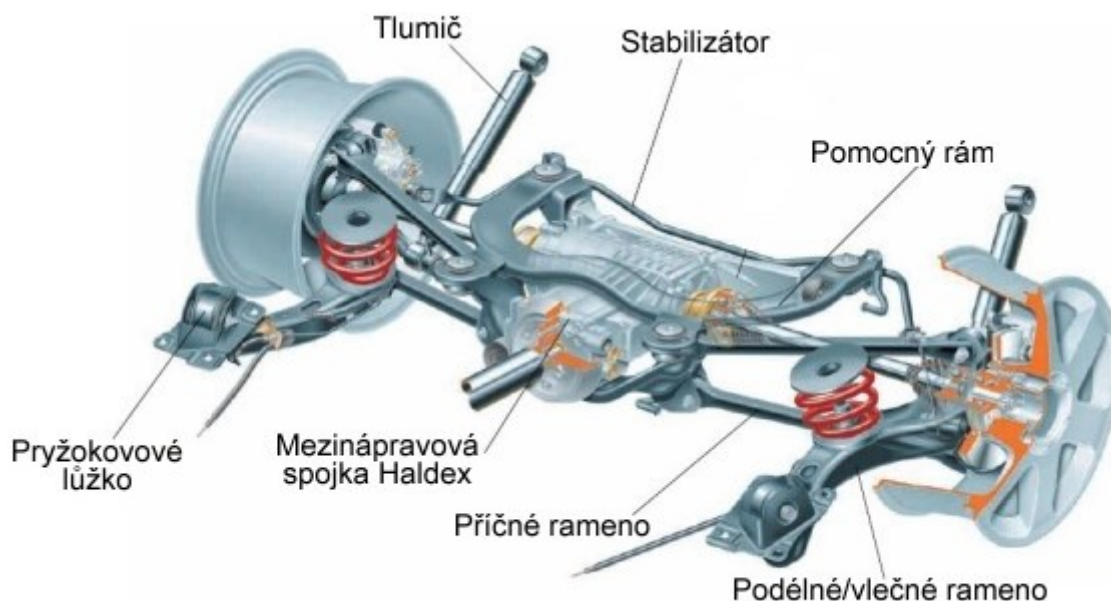


Obrázek 17. Schéma systému pohonu všech kol – příčný systém Quattro. [5]

(2.6.2) Konstrukční řešení zkoumané zadní nápravy

Zadní náprava vybraného automobilu je navržena jako nezávislé zavěšení kol s pomocným rámem, který nese mezinápravovou spojku Haldex a ke karoserii je připevněn pomocí šroubů přes čtyři pryžokovová lůžka nalisovaná v rámu. Podélné neboli také vlečné litinové rameno s těhlicí kola, dosedací plochou pro pružinu a spodním uchycením tlumiče a stabilizátoru je před kolem ke karoserii připevněno kloubem, který tvoří pryžokovové lůžko nalisované v rameně spojené přes šroub

k držáku uložení ramene. Ten je pomocí čtyř šroubů pevně spojen s karoserií. Pomocí těchto šroubů je možné v určité míře seřizovat sbíhavost zadních kol.



Obrázek 18. Schéma zadní nápravy s mezinápravovou spojkou Haldex. [5]

V příčném směru nápravu vede dvojice příčných ramen z profilu se čtvercovým průřezem na každé straně. Ta spojují pomocným rámem a vlečné rameno. V pomocném rámu jsou uchycená pomocí pryžkových lůžek příčných ramen, šroubů a samojistících matic. Naopak u spojení příčných ramen s vlečným ramenem jsou pryžková lůžka nalisovaná ve vlečném rameni u těhlice kola, které obepíná konec příčného ramene ve tvaru písmene „U“. Spojení je opět vykonáno šrouby a samojistícími maticemi. Všechna příčná ramena v továrním provedení nejsou nastavitelná, takže nemůžeme měnit jejich délku a tedy ani geometrii nápravy. Stabilizátor je dvojicí pryžových lůžek, kovových svěrek a šroubů připevněn k pomocnému rámu. Ten je na každém konci pomocí spojovací tyče uchycen stejným šroubem s válcovou plochou jako spodní konec tlumiče k podélnému rameni.

(2.6.3) Tovární nastavení nápravy

V následujících tabulkách jsou uvedeny hodnoty nastavení zadní nápravy vybraného automobilu předepsané výrobcem. Dle identifikačního čísla VIN byl u autorizovaného dealera a servisu zjištěn přesný typ podvozku a světlá výška (statická výška) u použitého automobilu. Komponenty náprav u všech devíti verzí jsou shodné s výjimkou vinutých pružin, které se dodávaly ve specifických rozměrech a tuhostech pro každou verzi.

V tomto případě je světlá výška udána jako vertikální rozměr mezi středem kola a lemem blatníku karoserie. Ke každé verzi světlé výšky přísluší určitá hodnota odklonu kola, ten se tedy se změnou světlé výšky mění, jelikož odklon kola není možné s továrními komponenty nápravy nastavovat. Standardně je odklon udáván ve stupních a minutách. Pro zjednodušení dalšího použití hodnot byly přepočítány také pouze na stupně.

Tabulka 1. Hodnoty pro zadní nápravu se standardním podvozkem dané výrobcem.
[autorizovaný dealer a servis Audi]

Standardní podvozek		
Statická výška	Hodnota odklonu kola	
352 mm	-2° 10'	-2,1667°
355 mm	-2° 04'	-2,0667°
360 mm	-1° 54'	-1,9000°
365 mm	-1° 44'	-1,7334°
370 mm	-1° 34'	-1,5667°
372 mm	-1° 30'	-1,5000°
375 mm	-1° 24'	-1,4000°
380 mm	-1° 14'	-1,2334°
382 mm	-1° 10'	-1,1667°
Tolerance	+/- 20'	+/- 0,3334°

	použitý automobil
--	-------------------

Výrobce také nabízel možnost továrního sportovního podvozkového paketu, který obsahoval tužší a nižší pružiny, které snížily světlou výšku vozidla o 20 mm u každé z devíti vyráběných verzí. Hodnoty příslušící použitému automobilu v případě použití tohoto sportovního paketu jsou obsaženy v následující tabulce.

Tabulka 2. Hodnoty pro zadní nápravu se sportovním podvozkovým paketem dané výrobcem. [autorizovaný dealer a servis Audi]

Sportovní podvozkový paket		
Statická výška	Hodnota odklonu kola	
332 mm	-2° 48'	-2,8000°
335 mm	-2° 42'	-2,7000°
340 mm	-2° 32'	-2,5334°
345 mm	-2° 22'	-2,3667°
350 mm	-2° 12'	-2,2000°
352 mm	-2° 08'	-2,1334°
355 mm	-2° 02'	-2,0334°
360 mm	-1° 52'	-1,8667°
362 mm	-1° 48'	-1,8000°
Tolerance	+ - 20'	+ - 0,3334°

	použitý automobil
--	-------------------

Potřebnou hodnotou udávanou výrobcem je také sbíhavost zadních kol, kterou výrobce udává v následující tabulce. Ta platí pro všechny světlé výšky, jelikož předepsanou sbíhavost kol je možné nastavit u všech verzí světlé výšky pro standartní podvozek i sportovní podvozkový paket pomocí čtveřice šroubů, které umožňují příčný pohyb kloubu spojující podélné rameno s karoserií.

Tabulka 3. Hodnoty sbíhavosti kol pro vybrané vozidlo. [autorizovaný dealer a servis Audi]

Zadní náprava	Pohon všech kol	
Odklon kola	viz. Tabulka č.1 a 2	
Nejvýše přípustný rozdíl mezi objema stranami	max. 20'	max. 0,3334°
Individuální sbíhavost	+7,5' +7,5'/-5'	+0,1250° +0,1250°/-0,0834°
Celková sbíhavost	+15' +15'/-10'	+0,2500° +0,2500°/-0,1667°
Maximálně přípustná odchylka směru vzhledem k podélné ose vozidla	max. 20'	max. 0,3334°

3. METODIKA MĚŘENÍ A ZPRACOVÁNÍ DAT

3.1 Metodika měření

Za účelem získání potřebných dat a souřadnic, přesněji rozměrů komponentů a umístění kloubů zadní nápravy zvoleného automobilu bylo provedeno měření přímo na automobilu (viz. Obrázek 19.) i mimo něj (viz. Obrázek 20.). Za účelem maximalizace přesnosti měření v daných podmínkách bylo použito množství pomůcek.

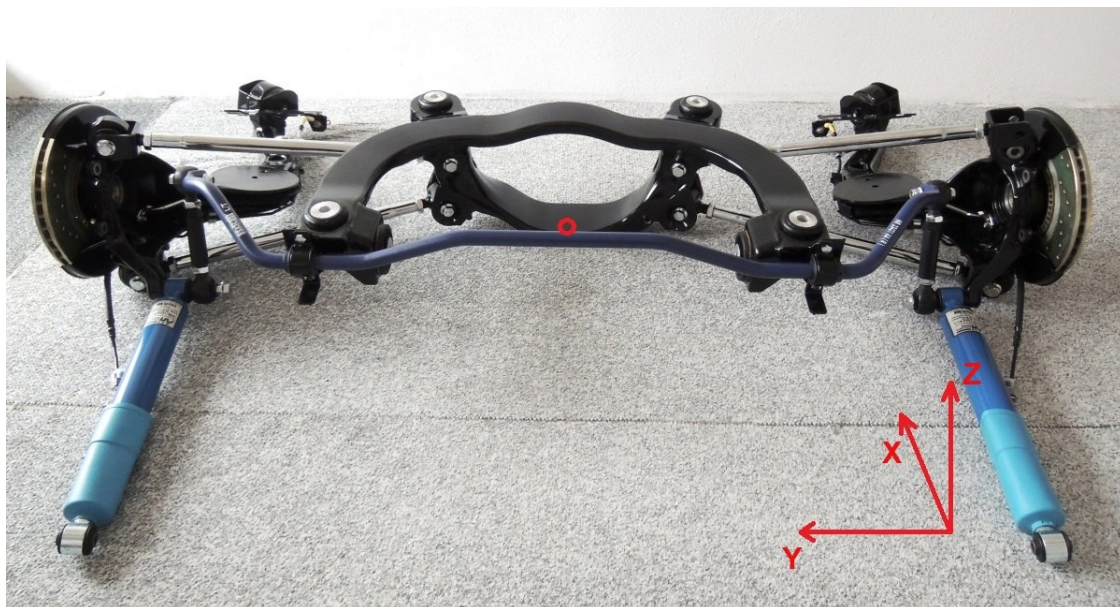


Obrázek 19. Měření nápravy na automobilu. [autor]

Seznam pomůcek použitých při měření:

- svinovací metr 2 m
- pravítko 500 mm
- průmyslový úhloměr 230x500 mm
- digitální úhlové pravítko
- úhelník hliníkový 300 mm
- posuvné měřidlo analogové 200 mm
- 2x vodováha hliníková 1000 mm
- vodováha hliníková 300 mm
- hydraulický zvedák s nosností 5 T
- hydraulický zvedák pojízdný s nízkým profilem, nosnost 2T
- 3x svěrka 250x50 mm
- voděodolná maskovací páska 25 mm x 50 m
- Centropen oboustranný

Před samotným měřením byl zvolen nultý bod neboli počátek souřadného systému, od kterého se budou potřebné rozměry odměřovat v osách X, Y a Z (viz. Obrázek 20.). Počátek souřadného systému byl umístěn na spodní plochu pomocného rámu v bodě ležícím na podélné ose vozidla (viz. Obrázek 19.). Tento bod byl odměřen od osově souměrných hlavních částí karoserie.

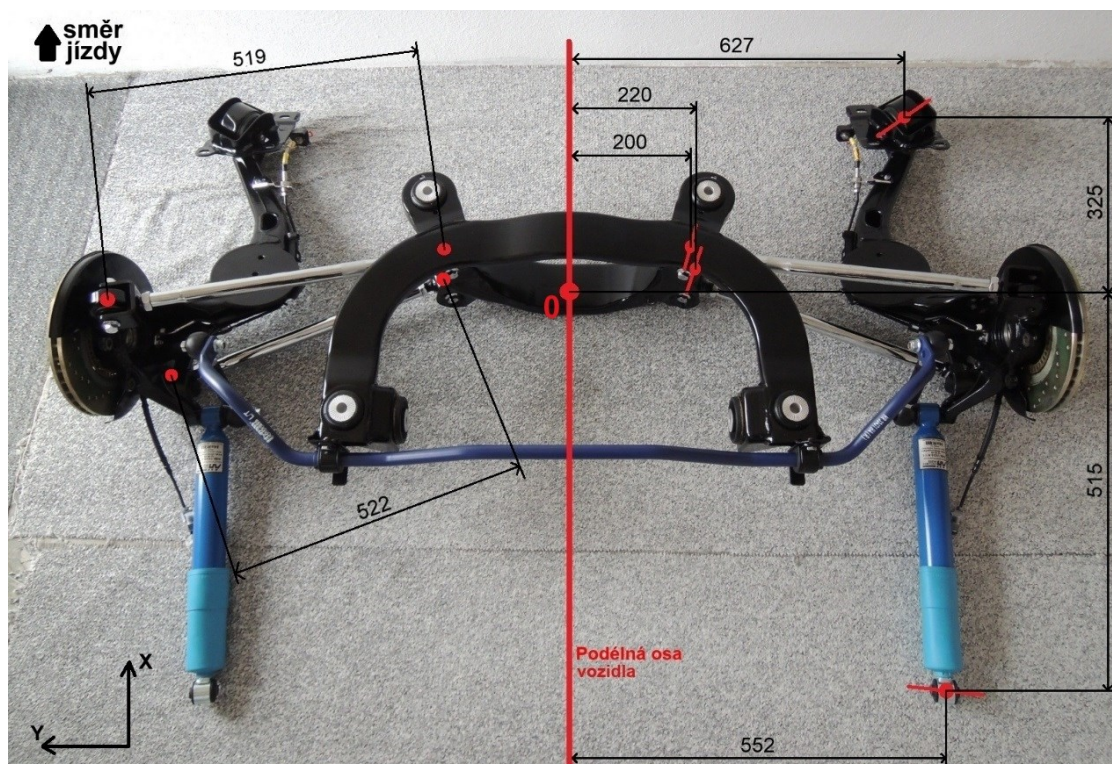


Obrázek 20. Měřená náprava mimo automobil. [autor]

3.2 Zpracování dat

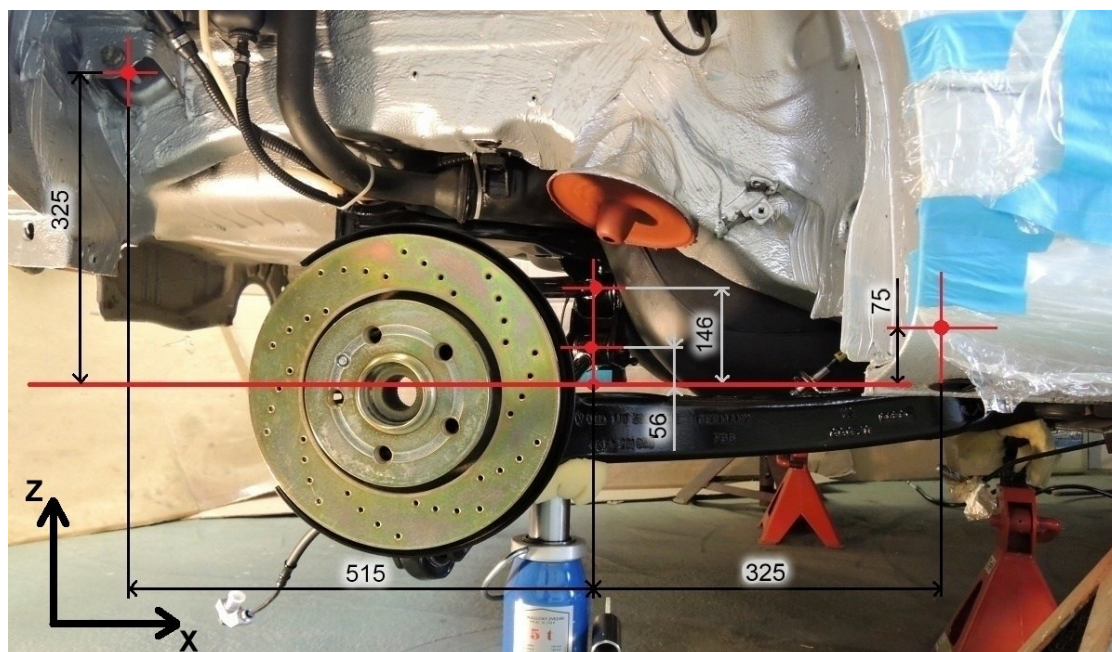
Data získaná praktickým měřením byla postupně zaznamenána v papírové formě pomocí náčrtů a skic měřených komponentů. Tyto náčrty byly následně přeneseny do digitální podoby ve formě fotografií měřených komponentů a nápravy s přiřazenými rozměry. Naměřená data zaznačená do fotografií můžete vidět v následujících obrázcích.

V následujícím obrázku jsou zaznačeny rozměry v osách X a Y k umístění předních hlavních kloubů podélných ramen nápravy, vnitřních kloubů spodních a horních příčných ramen a střed horního uložení tlumiče (viz. Obrázek 21.). Následující obrázek znázorňuje také délku mezi klouby spodních a horních příčných ramen nápravy.



Obrázek 21. Pohled na zadní nápravu shora. [autor]

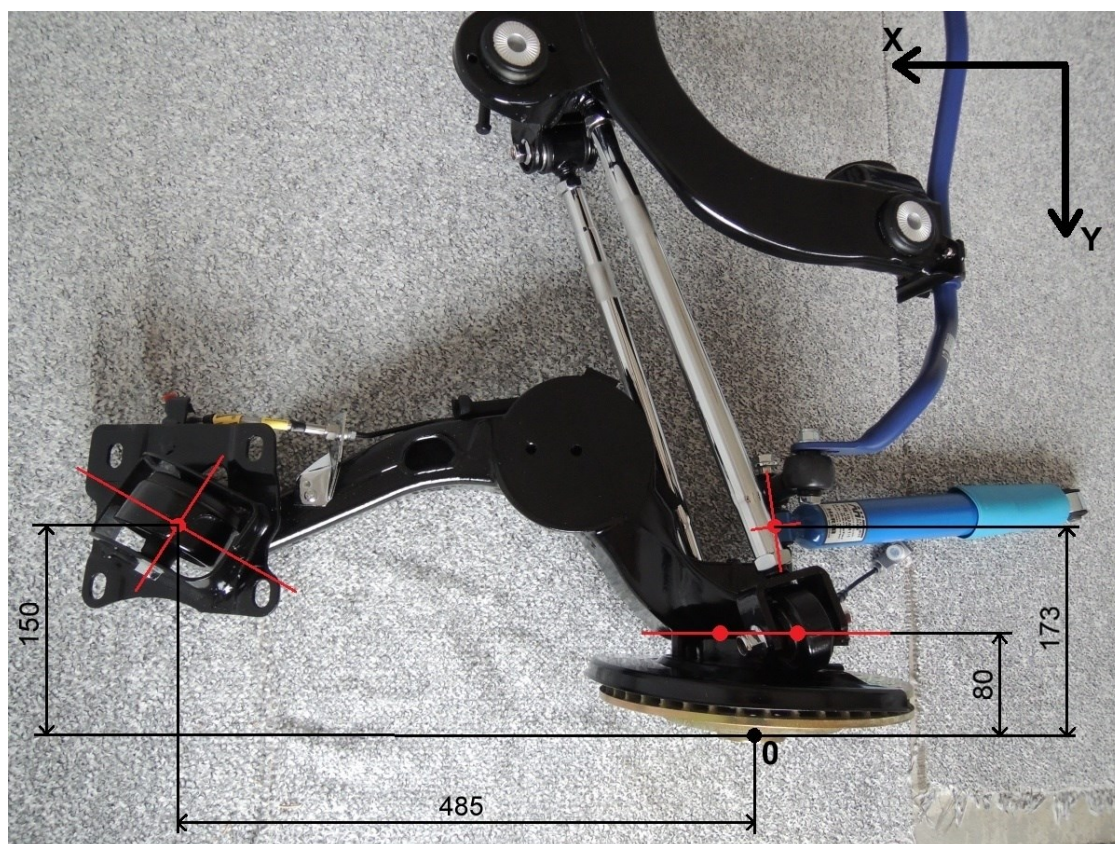
Obrázek 22. doplňuje chybějící rozměry v ose Z k bodům z předchozího obrázku. Nyní jsme schopni pomocí souřadnic v osách X, Y a Z přesně definovat polohu těchto bodů v prostoru.



Obrázek 22. Pohled na zadní nápravu z boku. [autor]

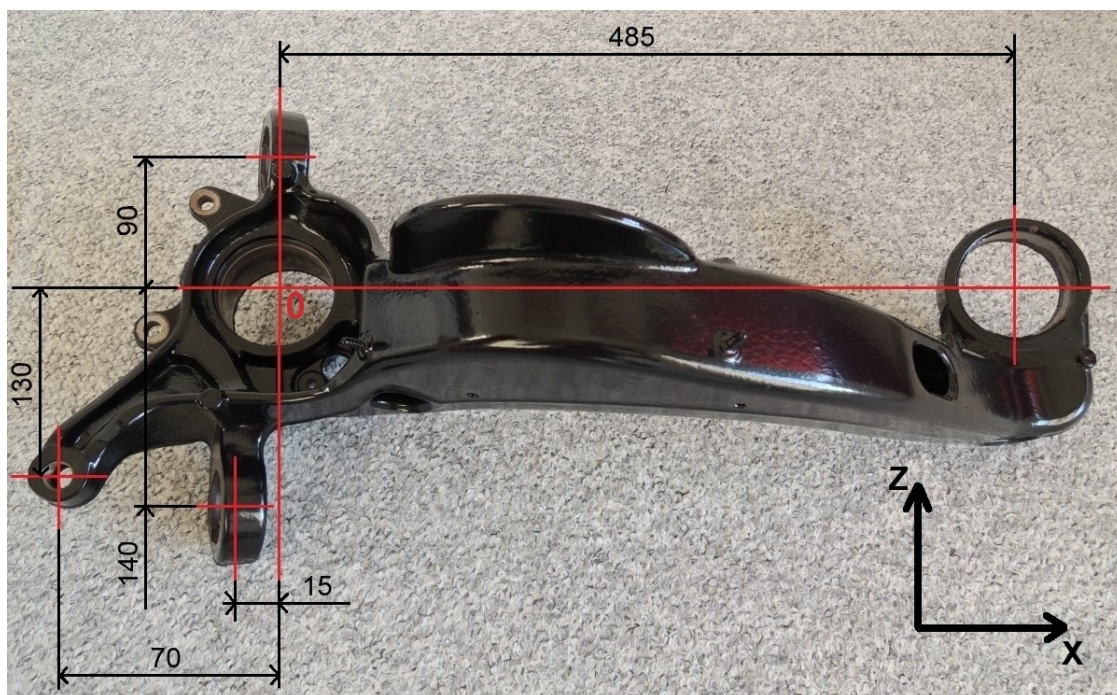
U pohledu kolmo shora na podélné rameno byl jako počátek soustavy souřadnic zvolen bod, jenž určuje střed dosedací plochy kola. Od tohoto bodu zjišťujeme rozměry

v osách X a Y k přednímu hlavnímu kloubu podélného ramena nápravy, vnějším kloubům spodních a horních příčných ramen a středu spodního uložení tlumiče (viz. Obrázek 23.).



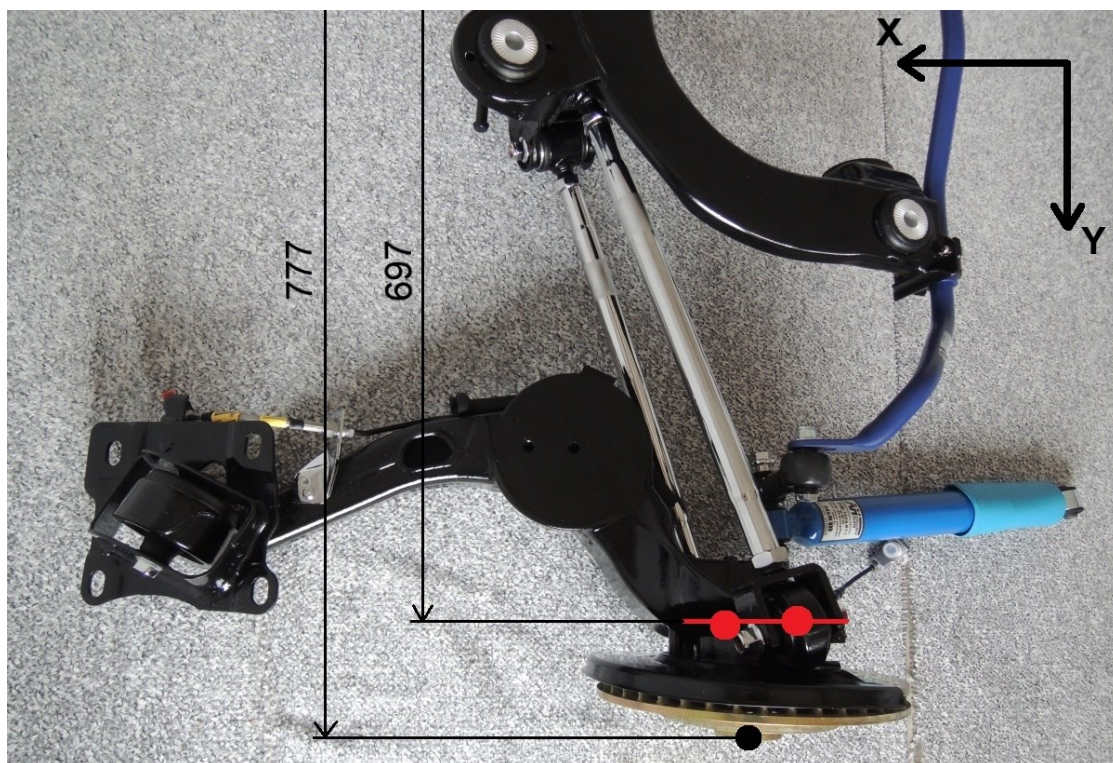
Obrázek 23. Pohled na podélné rameno nápravy shora. [autor]

Obrázek 24. doplňuje další rozměry v osách X a Z k bodům na předchozím obrázku. Pomocí těchto rozměrů již jsme schopni přesně definovat umístění dalších čtyř zkoumaných bodů v prostoru.



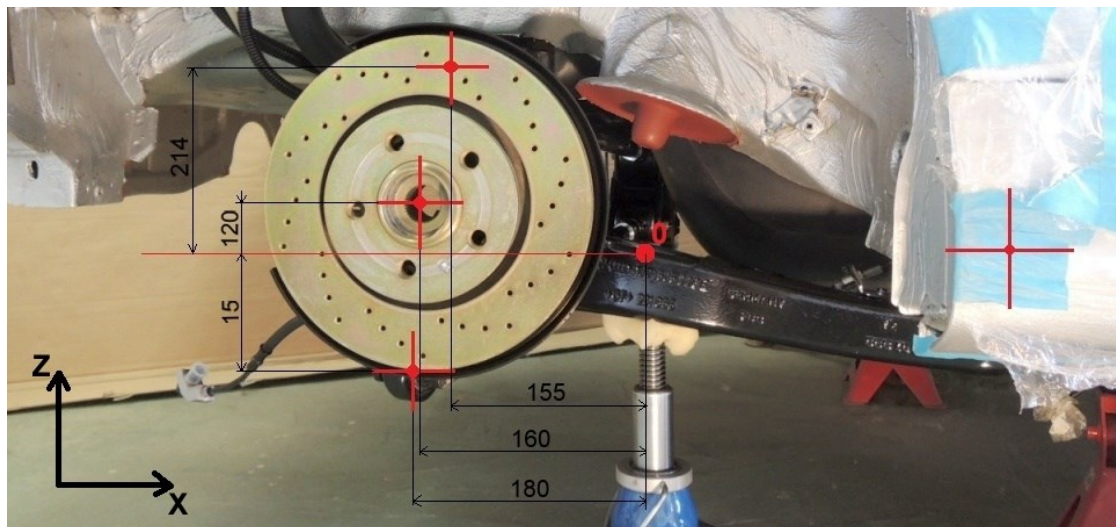
Obrázek 24. Pohled na podélné rameno nápravy z boku – odstrojené. [autor]

Další postup bylo ustavení nápravy v poloze odpovídající výrobcem předepsané světlé výšce vozidla se standartním podvozkem. V této poloze bylo nutné zjistit souřadnice bodu určující střed dosedací plochy kola a bodů, které spojují horní a spodní příčná ramena s podélným ramenem. Následující obrázek zobrazuje rozměry od počátku k daným bodům v ose Y.



Obrázek 25. Rozměry v ose Y při nastavení světlé výšky. [autor]

Obrázek 26. doplňuje rozměry v osách X a Z od počátku k daným bodům při nastavení světlé výšky.

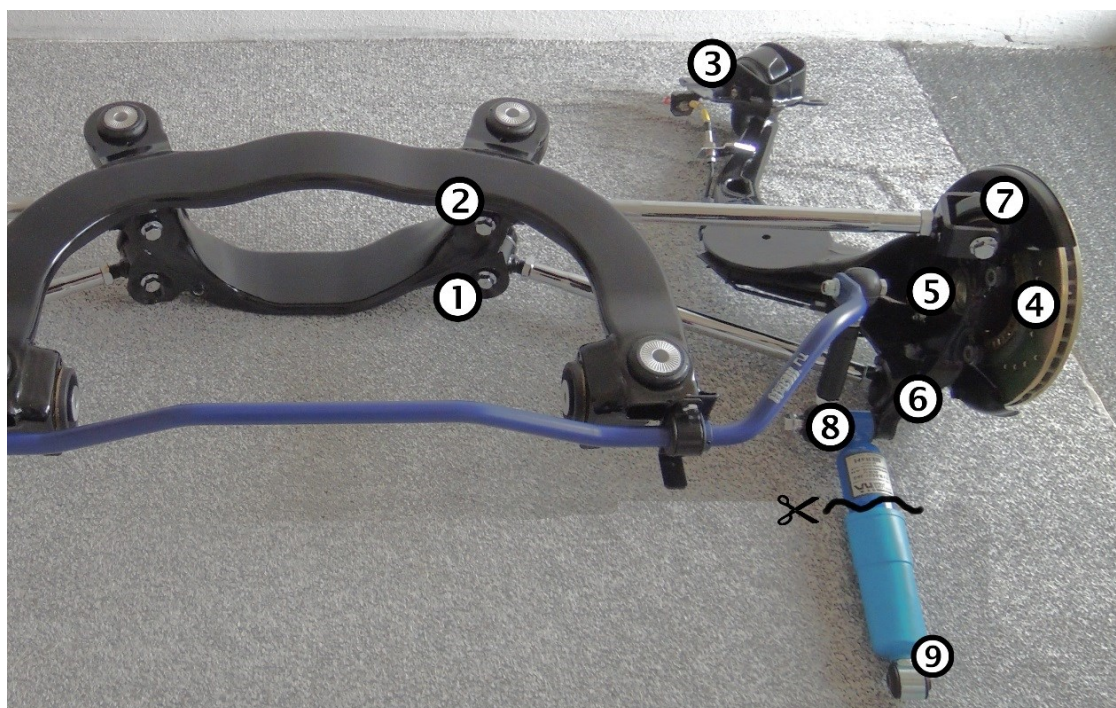


Obrázek 26. Rozměry v osách X a Z při nastavení světlé výšky. [autor]

Na základě všech naměřených hodnot byla pomocí početních úkonů sestavena tabulka souřadnic každého bodu nápravy ve zvoleném souřadném systému, které jsou potřebné k vytvoření kinematického modelu nápravy ve virtuálním prostředí.

Tabulka 4. Souřadnice bodů nápravy při nastavení světlé výšky 370 mm. [autor]

č.	Souřadnice	X [mm]	Y [mm]	Z [mm]
1	Spojení pomocný rám - příčné rameno spodní	0	-220	56
2	Spojení pomocný rám - příčné rameno horní	0	-200	146
3	Kloub podélného ramena	325	-627	75
4	Střed kola	-160	-777	120
5	Střed kola vnitřní	-160	-697	120
6	Spojení příčné rameno spodní - podélné rameno	-180	-697	-15
7	Spojení příčné rameno horní - podélné rameno	-155	-697	215
8	Spodní uložení tlumiče	-230	-624	-10
9	Horní uložení tlumiče	-515	-552	325



Obrázek 27. Přiřazení číslic bodů z Tabulky 4. [autor]

4. KINEMATICKÝ MODEL NÁPRAVY

Kinematický model nápravy ve virtuálním prostředí programu Lotus Suspension Analysis byl vytvořen na základech souřadnic bodů získaných při praktickém měření nápravy. Tyto souřadnice byly početně upraveny tak aby bylo možné nápravu co nejlépe přenést do virtuálního prostředí a zachovaly se tak polohy komponent při světlé výšce dané výrobcem. Změna oproti souřadnému systému vytvořenému při měření nastala u souřadnic počátku souřadného systému ve virtuálním prostředí. Proběhl přepočít souřadnic v osách X a Z.

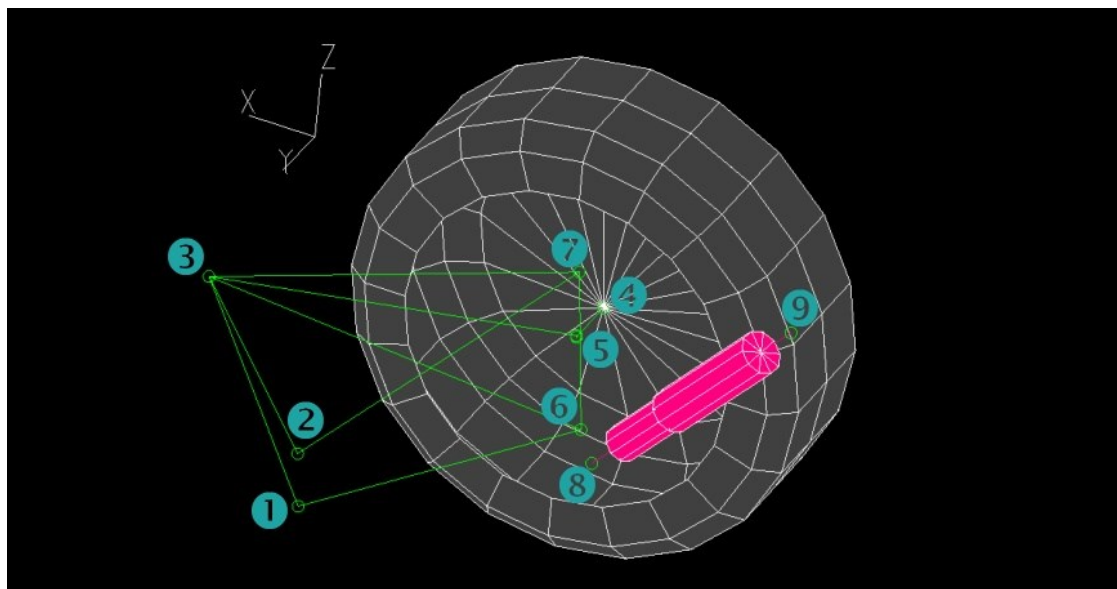
Tabulka 5. Přepočtené souřadnice počátku ve virtuálním prostředí. [autor]

Souřadnice	X [mm]	Y [mm]	Z [mm]
Počátek ve virtuálním prostředí	4000	0	184

Souřadnice počátku v ose Z byly posunuty o 184 mm, jelikož ve virtuálním prostředí se rozměry v ose Z určují od pomyslné podložky/vozovky. Vzdálenost bodu zvoleného při měření za počátek od vozovky při světlé výšce 370 mm je tedy 184 mm.

Tabulka 6. Souřadnice bodů nápravy při nastavení světlé výšky 370 mm ve virtuálním prostředí. [autor]

č.	Souřadnice	X [mm]	Y [mm]	Z [mm]
1	Spojení pomocný rám - příčné rameno spodní	4000	-220	240
2	Spojení pomocný rám - příčné rameno horní	4000	-200	330
3	Kloub podélného ramena	4325	-627	259
4	Střed kola	3840	-777	304
5	Střed kola vnitřní	3840	-697	304
6	Spojení příčné rameno spodní - podélné rameno	3820	-697	169
7	Spojení příčné rameno horní - podélné rameno	3845	-697	398
8	Spodní uložení tlumiče	3770	-624	174
9	Horní uložení tlumiče	3485	-552	509



Obrázek 28. Přiřazení číslíc bodů ve virtuálním prostředí z Tabulky 6. [autor]

Při vytváření modelu nápravy byla použita kola a pneumatiky předepsané výrobcem pro vybraný automobil. Kola s lehkých slitin o šířce 7,5 palce a průměrem 17 palců (7,5Jx17) s pneumatikami o rozměrech 225/45 R17. V programu Lotus je možné kola definovat pouze celkovým poloměrem kola a šířkou v milimetrech. Z toho důvodu byl použit excelový soubor „Tyre_Calculator_English“, který po zadání rozměrů disku a pneumatiky vypočítal potřebné rozměry.

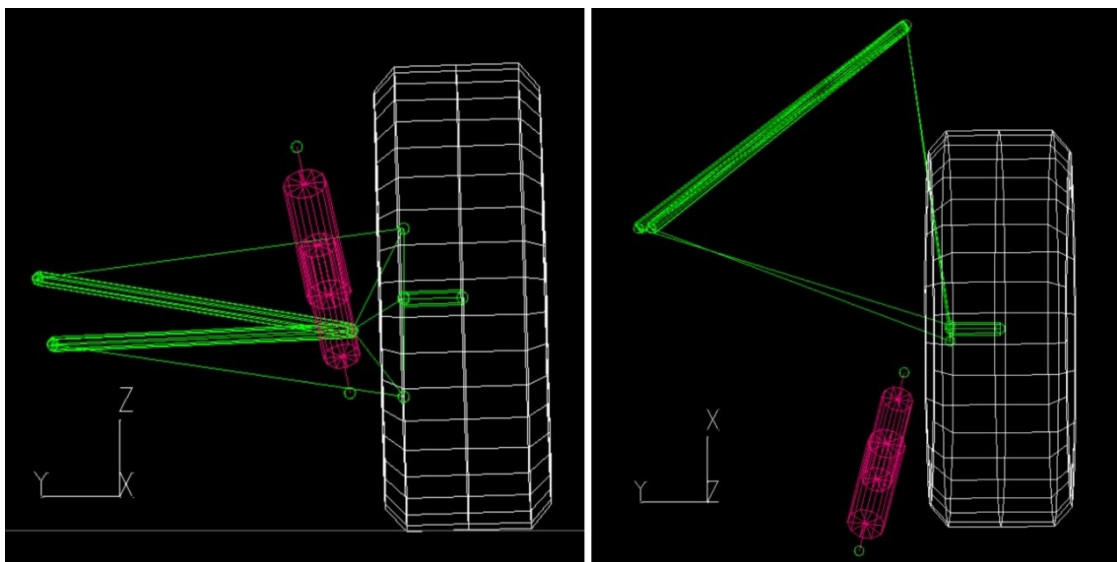
U modelu byla nastavena přesná geometrie nápravy předepsaná výrobcem pro statickou světlou výšku:

- negativní odklon kola $-1,5667^\circ$
- sbíhavost kol $+0,2500^\circ$

Při tvorbě modelu byla předpokládána osová souměrnost karoserie a bodů nápravy automobilu.

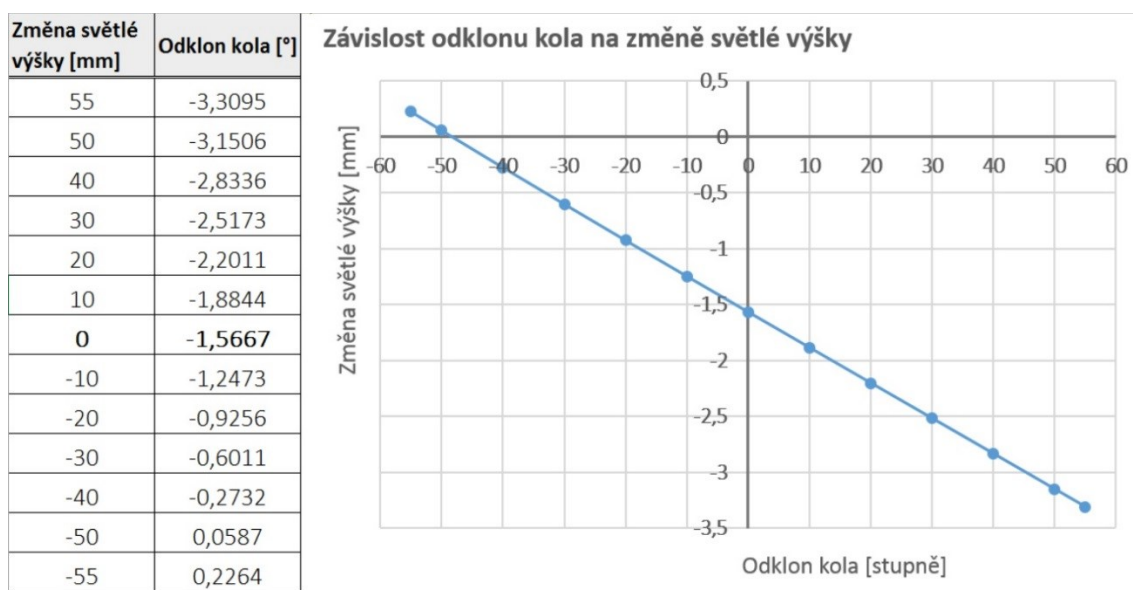
4.1 Originální standartní podvozek

Model nápravy byl vytvořen pomocí souřadnic pro automobil se standartním podvozkem, statickou světlou výškou 370 mm a geometrií předepsanou výrobcem. Maximální možná výchylka světlé výšky od statické světlé výšky při propružení, odlehčení či naklonění karoserie byla určena pomocí délky tlumiče při statické světlé výšce, jeho maximálního zdvihu a započtení dorazů pružiny. Doraz pružiny předchází situaci, kdy by se tlumič dostal na nulovou hodnotu jeho zdvihu.



Obrázek 29. Poloha nápravy při statické světlé výšce 370 mm. [autor]

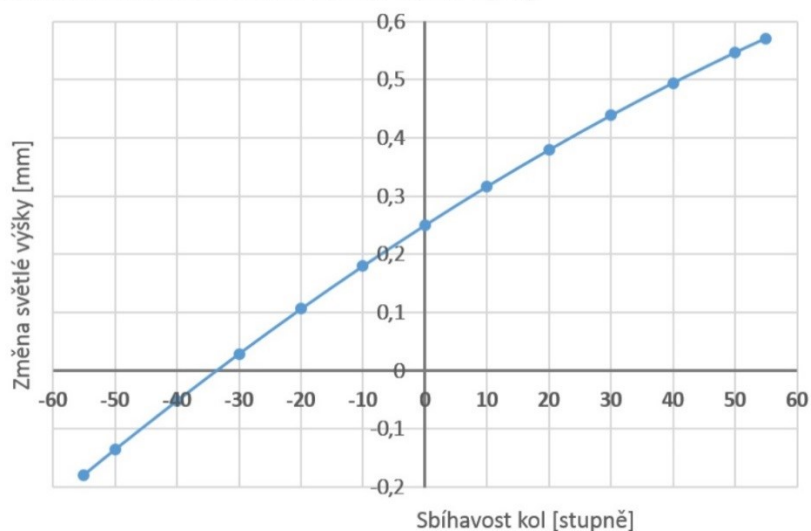
Jelikož je světlá výška 370 mm statická, tak v Obrázku 30. a 31. je zaznačena jako nultá (0 mm).



Obrázek 30. Závislost odklonu kola na změně světlé výšky při maximálním propružení a odlehčení – standartní podvozek. [autor]

Změna světlé výšky [mm]	Sbíhavost [°]
55	0,5714
50	0,5467
40	0,4945
30	0,4388
20	0,3795
10	0,3166
0	0,2500
-10	0,1799
-20	0,1062
-30	0,0291
-40	-0,0515
-50	-0,1353
-55	-0,1785

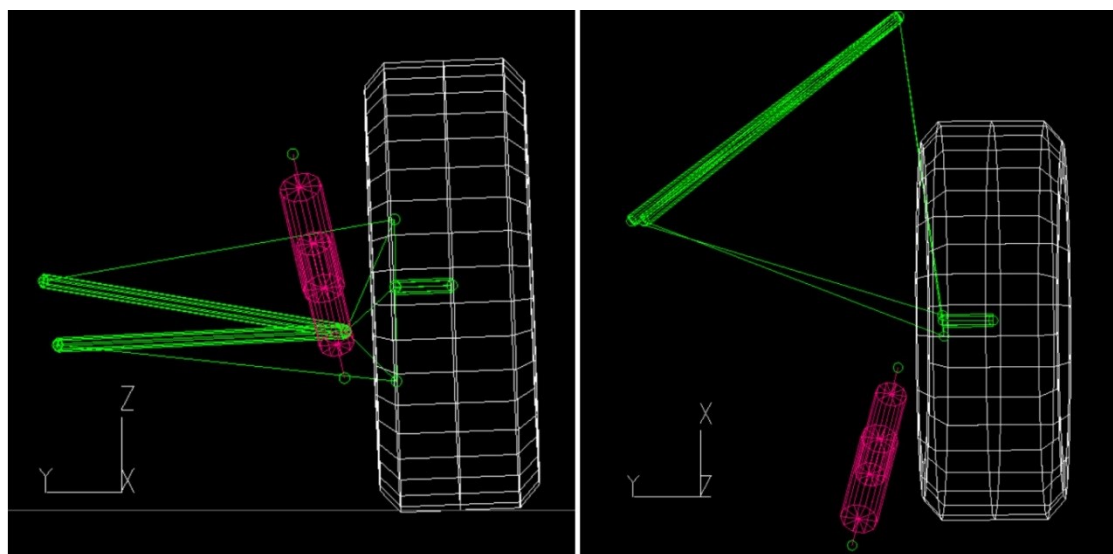
Závislost sbíhavosti kol na změně světlé výšky



Obrázek 31. Závislost sbíhavosti kol na změně světlé výšky při maximálním propružení a odlehčení – standartní podvozek. [autor]

4.2 Originální sportovní podvozkový paket

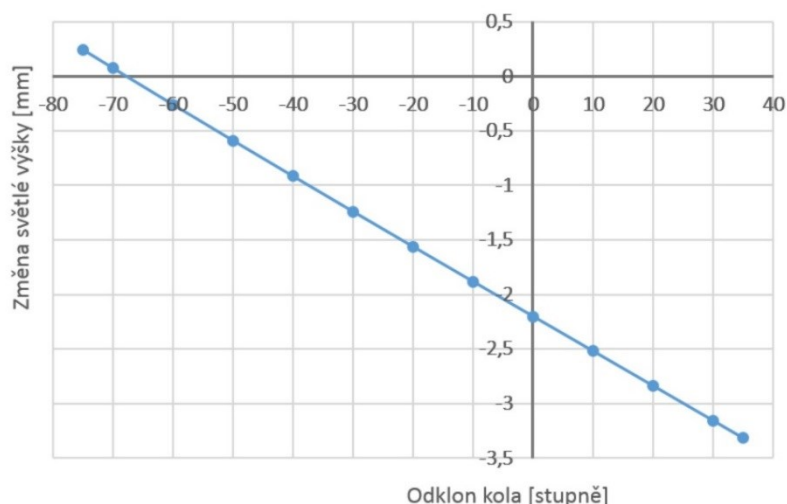
Jako základ simulace originálního sportovního podvozkového paketu, byl použit model standartního podvozku s patřičně upraveným nastavením. Originální sportovní podvozkový paket obsahuje pružiny snižující světlou výšku vozidla o 20 mm, tedy na 350 mm. Virtuální prostředí programu Lotus umožňuje příkaz změny světlé výšky stávajícího modelu, kterého zde bylo využito k potřebné simulaci. Další úpravou po snížení světlé výšky bylo opětovné nastavení sbíhavosti na výrobcem předepsanou hodnotu, jejíž nastavení výrobce garantuje i při použití sportovního podvozkového paketu.



Obrázek 32. Poloha nápravy při statické světlé výšce 350 mm. [autor]

Změna světélkové výšky [mm]	Odklon kola [°]
35	-3,318
30	-3,1578
20	-2,8384
10	-2,5197
0	-2,2011
-10	-1,8820
-20	-1,5618
-30	-1,2400
-40	-0,9159
-50	-0,5890
-60	-0,2587
-70	0,0757
-75	0,2445

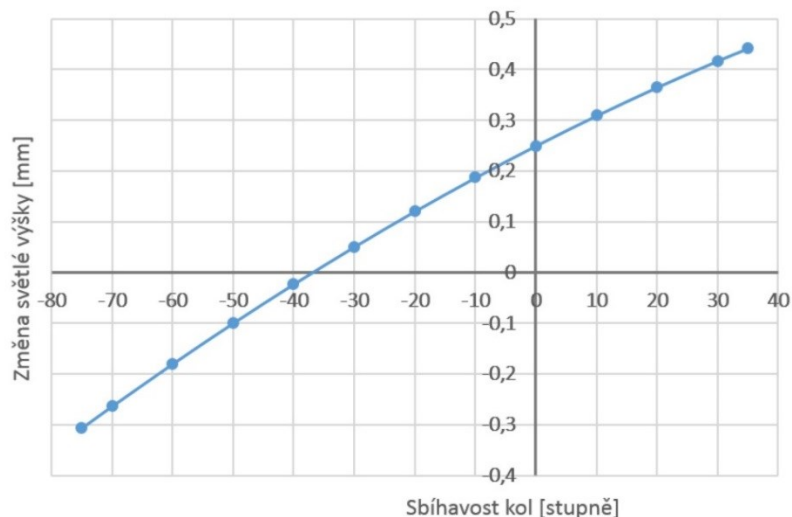
Závislost odklonu kola na změně světélkové výšky



Obrázek 33. Závislost odklonu kola na změně světélkové výšky při maximálním propružení a odlehčení – sportovní podvozkový paket. [autor]

Změna světélkové výšky [mm]	Sbíhavost [°]
35	0,442
30	0,4173
20	0,3651
10	0,3093
0	0,2500
-10	0,1871
-20	0,1207
-30	0,0507
-40	-0,0228
-50	-0,0997
-60	-0,1801
-70	-0,2636
-75	-0,3066

Závislost sbíhavosti kol na změně světélkové výšky



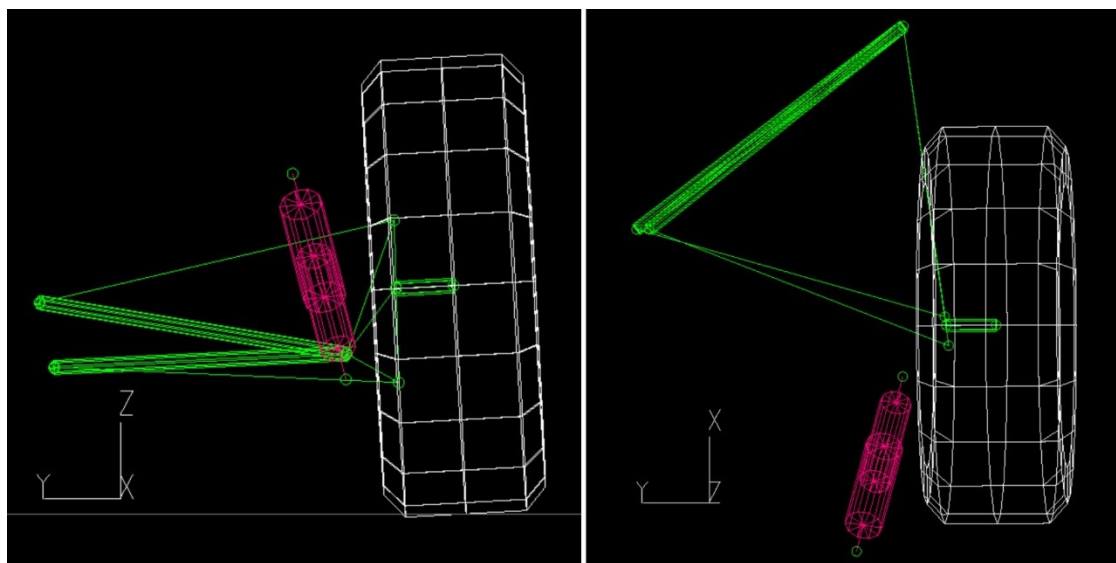
Obrázek 34. Závislost sbíhavosti kol na změně světélkové výšky při maximálním propružení a odlehčení – sportovní podvozkový paket. [autor]

Pomocí hodnot odklonu kola při snížení statické světélkové výšky díky originálnímu sportovnímu podvozkovému paketu je patrná přesnost vytvořeného modelu. Výrobce udává odklon kola pro sportovní paket se světélkovou výškou 350 mm je $-2,2000^\circ$ (viz. Tabulka 2.) a vytvořený model standartního podvozku dodatečně osazený originálním sportovním podvozkovým paketem dosáhl odklonu $-2,2011^\circ$ (viz. Obrázek 33.). Bylo tak dosaženo odchylky pouhých $0,0011^\circ$.

4.3 Neoriginální sportovní sada

Neoriginální sportovní podvozková sada obsahuje tlumiče a pružiny pro snížení světlé výšky vozidla a tím tedy i zvýšení tuhosti odpružení. Pro simulaci na modelu byla použita sada vyráběná jedním s předních světových výrobců sportovních podvozkových komponentů. Výrobce této sportovní sady udává snížení světlé výšky vozidla o 50 mm oproti standardnímu továrnímu nastavení. Světlá výška u použitého automobilu se tedy změní z 370 mm na 320 mm. Při montáži těchto sportovních komponentů výrobce vyžaduje zkrácení pryžového dorazu pružiny o 15 mm za účelem dosažení možnosti většího chodu kola při propružení.

U této simulace je již předpokládáno, že hodnoty odklonu a sbíhavosti kol budou ležet za hranicí výrobcem předepsaných hodnot z důvodu snížení světlé výšky na hodnotu menší než má nejnižší továrně vyráběná varianta. Nejnižší světlá výška, pro kterou je možné nastavit předepsanou sbíhavost je dle výrobce 332 mm (viz. Tabulka 2.). U původního modelu nápravy se standardním podvozkem byla proto snížena světlá výška o 38 mm a upraven úhel sbíhavosti kol na předepsanou hodnotu. Odklon kola se po úpravě světlé výšky změnil na $-2,7703^\circ$, kdy výrobce vozidla u této světlé výšky udává $-2,8000^\circ$ (viz. Tabulka 2.). Z důvodu odchylky zanedbatelných $0,0297^\circ$ hodnoty odklonu u modelu byl ponechán odklon kola $-2,7703^\circ$. Světlá výška byla následně snížena o zbylých 12 mm, čímž se dostala na chtěných 320 mm. Tímto postupem byla minimalizována velikost odchylky od výrobcem předepsané sbíhavosti kol.



Obrázek 35. Poloha nápravy při statické světlé výšce 320 mm. [autor]

Maximální možná výchylka světlé výšky od statické světlé výšky při propuštění, odlehčení či naklonění karoserie byla určena pomocí délky tlumiče při statické světlé výšce, jeho maximálního zdvihu a započtení zkráceného dorazu pružiny o 15 mm dle požadavku výrobce této podvozkové sady.



Obrázek 36. Závislost odklonu kola na změně světlé výšky při maximálním propuštění a odlehčení – neoriginální sportovní sada. [autor]

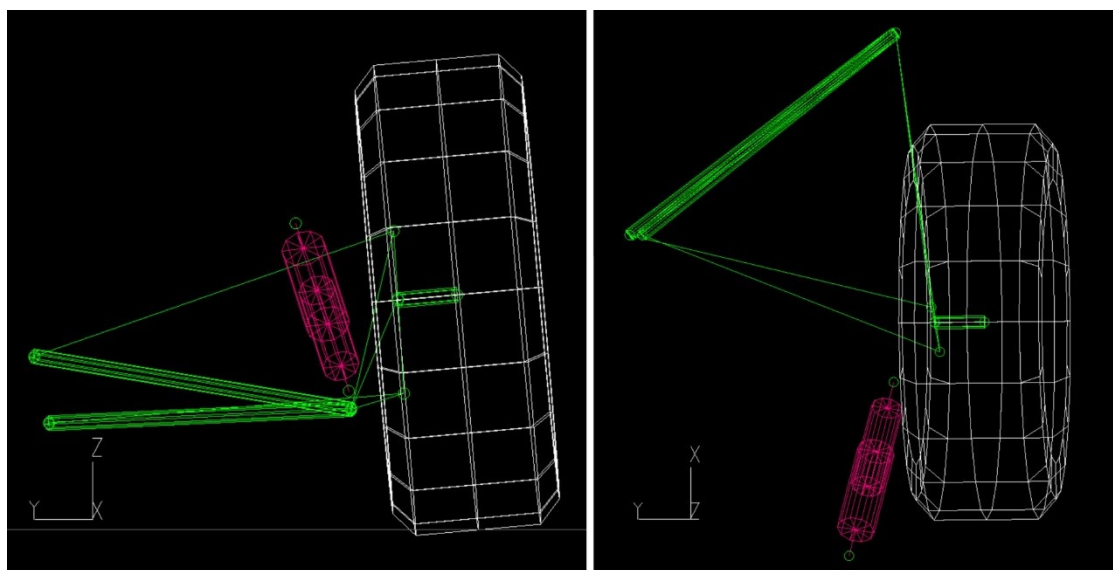


Obrázek 37. Závislost sbíhavosti kol na změně světlé výšky při maximálním propuštění a odlehčení – neoriginální sportovní sada. [autor]

4.4 Neoriginální sportovní sada pro extrémní snížení

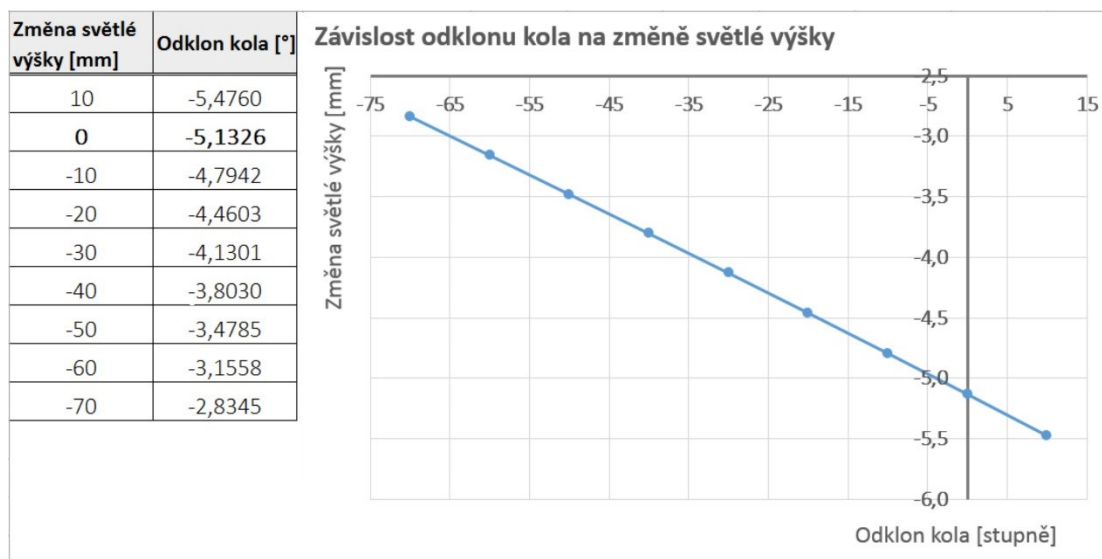
Neoriginální sportovní podvozková sada pro extrémní snížení obsahuje speciálně navržené tlumiče a pružiny pro maximální možné snížení světlé výšky bez nutných zásahů do karoserie automobilu. Při simulaci byla použita sada, jejíž výrobce udává snížení světlé výšky vozidla o 110 mm oproti standartnímu továrnímu nastavení. Světlá výška se tedy změní z 370 mm na 260 mm. Při montáži této sady výrobce udává nutné odstranění pryžových dorazů původních originálních pružin, aby byl umožněn kladný pohyb podélného ramene při propružení.

U této simulace je rovněž jako u simulace neoriginální sportovní sady předpokládáno, že hodnoty odklonu a sbíhavosti kol z důvodu snížení světlé výšky o více než je nejnižší vyráběná varianta budou ležet za hranicí výrobcem předepsaných hodnot. Proto je aplikován stejný postup za účelem minimalizace výsledné odchylky od hodnoty sbíhavosti kol dané výrobcem jako u neoriginální sportovní sady až do dosažení světlé statické výšky 260 mm.

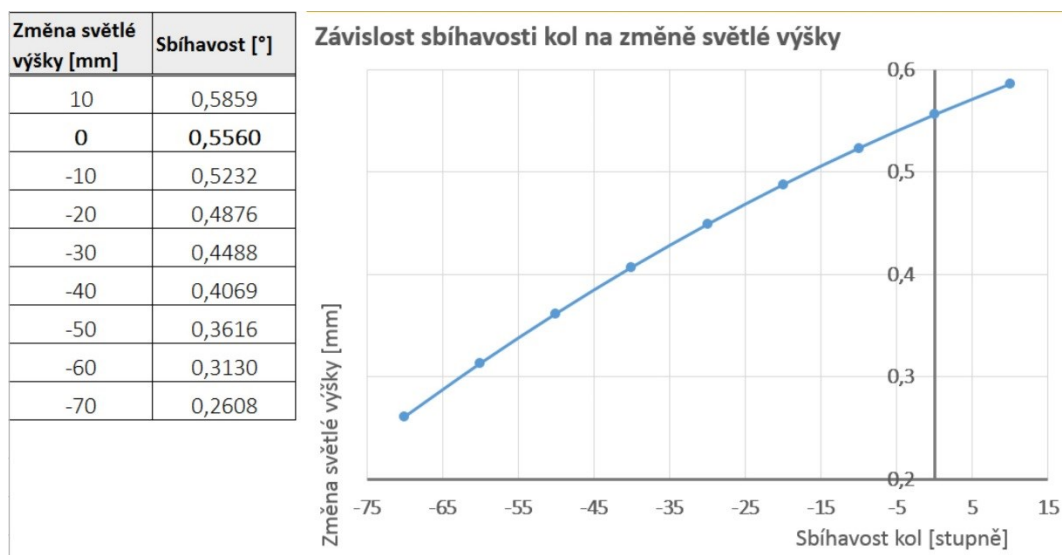


Obrázek 38. Poloha nápravy při statické světlé výšce 260 mm. [autor]

Maximální možná výchylka světlé výšky od statické světlé výšky při propružení, odlehčení či naklonění karoserie byla určena pomocí délky tlumiče při statické světlé výšce, jeho maximálního zdvihu a započtení odstranění dorazu pružiny dle požadavku výrobce této podvozkové sady. Pružina je zde navržena tak, aby nebylo nutné použití pryžového dorazu.



Obrázek 39. Závislost odklonu kola na změně světélkové výšky při maximálním propružení a odlehčení – neoriginální sportovní sada pro extrémní snížení. [autor]



Obrázek 40. Závislost sbíhavosti kol na změně světélkové výšky při maximálním propružení a odlehčení – neoriginální sportovní sada pro extrémní snížení. [autor]

5. ZHODNOCENÍ A DOPORUČENÍ

5.1 Originální standartní podvozek

Pomocí modelu vytvořeného na základech naměřených souřadnic nápravy při originálním standartním nastavení byla provedena simulace pohybů kol při propružení a odlehčení nápravy až po maximální hodnoty. Při pohybech kol byly sledovány změny odklonů a sbíhavosti kol.

Míra přesnosti modelu vůči reálné nápravě vyplynula při dalších dvou změnách nastavení:

- Snížení světlé výšky u modelu pomocí originálního sportovního paketu, kdy odchylka mezi výrobcem udávaným odklonem při použití sportovního paketu a odklonem vzniklým snížením světlé výšky modelu o danou hodnotu sportovního paketu byla zanedbatelných $0,0011^\circ$.
- Snížení světlé výšky u modelu na nejnižší variantu světlé výšky, kdy odchylka mezi výrobcem udávaným odklonem u nejnižší varianty světlé výšky a odklonem vzniklým snížením světlé výšky modelu na hodnotu nejnižší vyráběné varianty světlé výšky byla zanedbatelných $0,0297^\circ$.

5.2 Originální podvozek se sportovním podvozkovým paketem

Simulace použití originálního sportovního podvozkového paketu byla vytvořena pomocí úpravy modelu standartního podvozku. Zde se snížila světlá výška modelu nápravy o výrobcem udávaných 20 mm při použití originálního sportovního paketu a sbíhavost kol byla nastavena zpět do výrobcem požadované hodnoty. Po těchto úpravách se průměrná hodnota negativního odklonu při statické světlé výšce a následně při pohybech kola zvýšila, pouze u maximálních hodnot odlehčení nápravy jsou hodnoty odklonů vyšší v kladném směru než u standartního podvozku.

Výhody:

- Snížením světlé výšky vozidla je dosaženo snížení těžiště, což vede k zlepšení ovladatelnosti.
- Zvýšením hodnot negativního odklonu kola je dosaženo zlepšení přilnavosti vnějších pneumatik vozidla při průjezdu zatáčkou.
- Možnost nastavení předepsané sbíhavosti kol.

Nevýhody:

- Předpokládané zhoršení komfortu jízdy z důvodu použití kratších vinutých pružin, které mají vyšší tuhost předcházející kontaktu originálních dorazů pružiny při propnutí.
- Předpokládané zvýšení nesouměrného opotřebení pneumatik z důvodu zvýšení hodnot negativních odklonů kola při jízdě, kdy je pneumatika nesouměrně zatěžována.

Doporučení:

Použití originálního sportovního paketu je doporučeno při potřebě zlepšení ovladatelnosti automobilu a zvýšení sportovního charakteru řízení oproti standardnímu továrnímu podvozku při běžném užívání vozidla.

5.3 Neoriginální sportovní sada

Simulace použití neoriginální sportovní sady byla vytvořena pomocí úpravy modelu zadní nápravy standardního podvozku, protože výrobce této sady udává hodnotu snížení světlé výšky vozidla po montáži oproti originálnímu standardnímu nastavení o 50 mm.

Bylo předpokládáno, že při použití neoriginální sportovní sady se hodnota sbíhavosti kol dostane za hranici hodnoty předepsané výrobcem automobilu. Za účelem minimalizace odchylky sbíhavosti kol při použití neoriginální sportovní sady od předepsané hodnoty byla světlá výška u modelu nápravy nejprve snížena na hodnotu nejnižší vyráběné varianty světlé výšky, u které výrobce zaručuje nastavení sbíhavosti kol na předepsanou hodnotu. U této světlé výšky bylo provedeno nastavení předepsané hodnoty sbíhavosti kol $0,2500^\circ$. Až od tohoto nastavení byla světlá výška modelu snížena na konečnou hodnotu. Sbíhavost kol při statické světlé výšce při simulaci neoriginální sportovní sady je $0,3130^\circ$. Výrobcem udávaná ideální sbíhavost je $0,2500^\circ$, k této hodnotě je ale udána také tolerance. Po přičtení kladné tolerance k ideální sbíhavosti kol byla dosažena hodnota až $0,5000^\circ$, což znamená, že sbíhavost vzniklá po použití neoriginální sportovní sady se nachází v toleranci dané výrobcem vozidla.

Odklon kola naopak při použití stávajících továrních komponentů nápravy nastavovat nelze. Hodnota odklonu kola vzniklého snížením statické světlé výšky pro simulaci neoriginální podvozkové sady je tak vyšší než výrobcem předepsaná maximální hodnota odklonu kola, která i s připočtením tolerance záporným směrem je $-3,1334^\circ$. Rozdíl mezi maximální tolerovanou hodnotou odklonu kola danou výrobcem a dosaženou hodnotou odklonu kola je tak zanedbatelných $0,0224^\circ$.

Výhody:

- Snížením světlé výšky je dosaženo ekvivalentního snížení těžiště vozidla, což vede k zlepšení ovladatelnosti.
- Možnost nastavení sbíhavosti kol na hodnotu tolerovanou výrobcem vozidla.
- Vzniklého negativního odklonu kola použitím neoriginální sportovní sady je možné využít při sportovních či závodních účelech, kde negativní odklon vytváří lepší přilnavost vnějšího kola při projíždění zatáčky vysokou rychlostí.
- Nižší proměnlivost odklonu při propružení či odlehčení kola z důvodu nižšího rozsahu proměnlivosti světlé výšky.
- Nižší proměnlivost sbíhavosti při propružení či odlehčení kola z důvodu nižšího rozsahu proměnlivosti světlé výšky.

Nevýhody:

- Předpokládané zhoršení komfortu jízdy z důvodu použití kratších vinutých pružin o vyšší tuhosti předcházejících kontaktu zkrácených dorazů pružiny po snížení světlé výšky a nižšímu rozsahu možností změn světlé výšky při absorbování nerovností na vozovce.
- Předpokládané zvýšení nesouměrného opotřebení pneumatik z důvodu zvýšení hodnot negativních odklonů kola při jízdě, kdy je pneumatika nesouměrně zatěžována.

Doporučení:

Vzhledem k předpokládanému nadměrnému opotřebení pneumatik z důvodu nerovnoměrného zatížení vzniklého odklonem kola převyšující maximální tolerovanou hodnotu udávanou výrobcem vozidla je tato neoriginální sportovní sada doporučena pro montáž na vozidlo určené převážně pro sportovní účely, kde je možné takto negativních hodnot odklonů naopak využít zlepšením přilnavosti vnějšího kola při rychlém průjezdu zatáčkou.

I přes malou odchylku hodnoty vzniklého odklonu kola od maximální tolerované hodnoty dané výrobcem je doporučena výměna komponent nápravy k možnosti nastavení odklonů kol podle využití vozidla. Možnosti nastavení odklonu kol je možné dosáhnout výměnou spodních příčných ramen za ramena s proměnlivou délkou.

5.4 Neoriginální sportovní sada pro extrémní snížení

Simulace použití neoriginální sportovní sady pro extrémní snížení byla vytvořena pomocí úpravy modelu zadní nápravy standartního podvozku, protože výrobce této sady

udává hodnotu snížení světlé výšky vozidla po montáži oproti originálnímu standartnímu nastavení o 110 mm bez nutnosti zásahů do karoserie automobilu.

Bylo předpokládáno, že při použití neoriginální sportovní sady pro extrémní snížení se hodnota sbíhavosti kol dostane za hranici hodnoty předepsané výrobcem automobilu. Za účelem minimalizace odchylky sbíhavosti kol při použití této sportovní sady od předepsané hodnoty byla světlá výška u modelu nápravy nejprve snížena na hodnotu nejnižší vyráběné varianty světlé výšky, u které výrobce zaručuje nastavení sbíhavosti kol na předepsanou hodnotu. U této světlé výšky bylo provedeno nastavení předepsané hodnoty sbíhavosti kol $0,2500^\circ$. Až od tohoto nastavení byla světlá výška modelu snížena na konečnou hodnotu. Sbíhavost kol při statické světlé výšce při simulaci neoriginální sportovní sady je $0,5560^\circ$. Výrobcem udávaná ideální sbíhavost je $0,2500^\circ$, k této hodnotě je ale udána také tolerance. Po přičtení kladné tolerance k ideální sbíhavosti kol byla dosažena hodnota až $0,5000^\circ$, což znamená, že hodnota sbíhavosti vzniklá po použití neoriginální sportovní sady pro extrémní snížení se nachází až za maximální tolerovanou hodnotou danou výrobcem vozidla.

Odklon při použití stávajících továrních komponentů nápravy nastavovat nelze. Hodnota odklonu kola vzniklého snížením statické světlé výšky u simulace neoriginální podvozkové sady pro extrémní snížení je tak značně vyšší než výrobcem předepsaná maximální hodnota odklonu kola, která i s přičtením tolerance záporným směrem je $-3,1334^\circ$. Rozdíl mezi maximální tolerovanou hodnotou odklonu kola danou výrobcem a dosaženou hodnotou odklonu kola je tak $1,9992^\circ$ (39%).

Výhody:

- Dosažení maximálního snížení světlé výšky automobilu použitím podvozkové sady bez nutného zásahu do karoserie a tím ekvivalentního snížení těžiště automobilu.
- Nízká proměnlivost odklonu při propružení či odlehčení kola z důvodu nižšího rozsahu proměnlivosti světlé výšky.
- Dosažení nejnižší proměnlivosti sbíhavosti při propružení či odlehčení kola.

Nevýhody:

- Předpokládané vysoké zhoršení komfortu jízdy z důvodu použití krátkých vinutých pružin o vysoké tuhosti s nízkou možností změny světlé výšky při propružení nápravy a tím nízkou schopností absorbování nerovností na vozovce.
- Zmenšení styčné plochy pneumatiky s vozovkou vzniklou vysokým převýšením hodnoty záporného odklonu od maximální tolerované hodnoty udané výrobcem.

- Vysoké nesouměrné opotřebení pneumatik z důvodu vysokých hodnot negativních odklonů kola při jízdě a převýšení maximální tolerované sbíhavosti kol udané výrobcem vozidla, kdy je pneumatika nesouměrně zatěžována a smýkána po vozovce.
- Předpoklad nedotáčivého chování vozidla při průjezdu zatáčkou z důvodu převýšení maximální tolerované hodnoty sbíhavosti kol dané výrobcem vozidla.

Doporučení:

Pro zaručení správné funkčnosti zavěšení kol zadní nápravy při použití neoriginální sportovní sady pro extrémní snížení je doporučená úprava dalších komponentů nápravy tak, aby byla zajištěna možnost nastavení odklonů kol a možnost nastavení sbíhavosti kol ve vyšším rozsahu než je tomu u továrních komponentů. Za účelem splnění těchto požadavků je navržena výměna spodních a horních příčných ramen za ramena s nastavitelnou délkou. Výměna originálních příčných ramen za ramena s nastavitelnou délkou zaručí možnost nastavení požadované sbíhavosti kol při změně délek spodních a horních ramen současně. Při změně délky pouze spodního nebo horního ramene je nastavována hodnota odklonu kola.

Z důvodu vysokého snížení světlé výšky vozidla a tím doprovázeného ekvivalentního snížení komfortu jízdy s nízkou možností absorbování nerovností na vozovce je použití neoriginální sportovní sady pro extrémní snížení doporučeno především pro sportovní a závodní účely.

6. ZÁVĚR

Tato bakalářská práce se zabývala kinematikou zadní nápravy vybraného automobilu a její možností upravení nastavení.

V úvodu teoretického rozboru problematiky proběhlo seznámení se základní teorií zavěšení kol, jeho účelem, základními pojmy a rozdělením. Dále byly popsány nejčastější typy zavěšení kol se zaměřením především na zavěšení zadních kol automobilů. U jednotlivých konstrukčních řešení proběhlo seznámení s jejich konstrukcí a popis. V následující části práce byly popsány pojmy spojené se zadním zavěšením kol automobilů, jejich nastavením a funkcí, kterými je možno ovlivnit řiditelnost vozidla. Po potřebném seznámení s teorií zavěšení kol bylo dosaženo již k popisu konstrukčního řešení zavěšení zadních kol použitého automobilu, jeho továrnímu nastavení a hodnotám nastavení daných výrobcem zaručující správnou funkci zavěšení. Tímto bylo v práci navázáno na tvorbu kinematického modelu nápravy ve virtuálním prostředí. Tvorbě tohoto modelu předcházelo praktické měření na vozidle i mimo něj za účelem získání souřadnic potřebných k přenesení nápravy do virtuálního prostředí. Model nápravy ve virtuálním prostředí programu Lotus Suspension Analysis byl nastaven pomocí hodnot výrobce udaných u standardního továrního provedení.

Spolu se simulací chování standardního továrního podvozku proběhla od tohoto nastavení odvíjející se další tři simulace různých nastavení. Simulace originálního sportovního paketu se snížením světlé výšky o 20 mm, neoriginální sportovní sady se snížením světlé výšky o 50 mm a neoriginální sportovní sady pro extrémní snížení se snížením světlé výšky o 110 mm. Výsledky simulací přinesly data v podobě závislosti odklonů a sbíhavosti kol na změně světlé výšky, které byly pro lepší přehlednost zpracovány ve formě tabulek a grafů v programu MS Excel.

Výsledky simulací částečně odpovídají očekávání, kdy bylo předpokládáno, že při simulaci originálního sportovního paketu oproti standardnímu továrnímu podvozku dojde ke zvýšení hodnot záporných odklonů kol, v kterých se kola budou pohybovat s možností nastavení sbíhavosti kol na předepsanou hodnotu. Při simulaci neoriginální sportovní sady dochází k dalšímu nárůstu hodnot negativních odklonů kol, ve kterých se kola pohybují v závislosti na snížení světlé výšky, zde však již dosažená hodnota odklonu kola při statické světlé výšce přesahuje maximální tolerovanou hodnotu odklonu kola danou výrobcem. Pro zaručení správné funkčnosti zavěšení byla

doporučena úprava, pomocí které bude možné nastavit odklony kol dle využití vozidla. Naopak hodnota sbíhavosti kol při simulaci neoriginální sportovní sady leží v toleranci dané výrobcem. V závěru proběhla simulace neoriginální sportovní sady pro extrémní snížení, kde dochází k nárůstu hodnot negativních odklonů kol, ve kterých se kola pohybují v závislosti na snížení světlé výšky. Hodnota odklonu kola při statické světlé výšce zde vysoce překračuje maximální tolerovanou hodnotu danou výrobcem. Sbíhavost kol, se také dostává za hranici maximální tolerované hodnoty dané výrobcem. Proto je pro zaručení správné funkčnosti zavěšení doporučená úprava umožňující nastavení odklonů a sbíhavosti kol ve větším rozsahu dle použití vozidla.

Výsledky této práce částečně vyvracejí tvrzení výrobců neoriginálních sportovních sad, kteří udávají použití těchto sportovních sad bez potřeby dalších úprav originálních komponentů při zachování správné funkce zavěšení. Díky platformě PQ34, kterou použitý automobil využívá, mají výsledky širší možnost užití, jelikož shodnou platformu využívá VW Golf IV 4motion, Audi S3 8L nebo Seat Leon Cupra 4.

7. PODĚKOVÁNÍ

V první řadě chci poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Lukáši Hornáčkovi za odborné vedení, pozitivní přístup, poskytování rad a věnovaný čas při konzultacích, což bylo základem pro vypracování mé bakalářské práce. Ing. Pavlu Pejčochovi za seznámení s prací v programu Lotus Suspension Analysis a pomoc při vytváření kinematického modelu. Poděkování patří dále dealerství a servisu Audi za poskytnutí potřebných dat. V neposlední řadě chci poděkovat také členům mé rodiny a přítelkyni za psychickou podporu a pomoc při praktické části mé práce.

8. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] VLK, František. *Podvozky motorových vozidel*. 3., přeprac., rozš. a aktualiz. vyd. Brno: František Vlk, 2006. ISBN 802396464X.
- [2] MATĚJKA, Rostislav. *Vozidla silniční dopravy I*. 2. přeprac. vyd. Bratislava: Alfa, 1990, 213 s. ISBN 80-05-00392-7
- [3] KÁLLAI, Tibor. *Řešení závěsu nápravy osobního automobilu*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 2012.

INTERNETOVÉ ZDROJE

- [4] *Autolexikon.net: Části automobilu - podvozek* [online]. [cit. 2016-02-20]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/category/casti-automobilu/podvozek/>
- [5] *Audittuning.org: Haldex Service Training – Self Study Program* [online]. [cit. 2016-04-13]. Dostupné z: <https://audittuning.org/2010/12/07/haldex-service-training-self-study-program/>